This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Sci
1080.
40.8

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1892.

Digitized by Google

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS,
18485 Quai des Grands-Augustins, 55.

Digitized by Google

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE
PAR DÉCRET DU 15 JANVIER 1881.

ANNÉE 1892.

PARIS,
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ,
44, RUE DE RENNES, 44.

1892

Digitized by Google

Sci 103.4.5.5

HARVARD COLLEGE
MAR 12 1921
LIBRARY

Degrand fund

Digitized by Google

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU 15 JANVIER 1892.

PRÉSIDENCE DE M. FRIEDEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 18 décembre est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. CHENEVIER, Directeur du Laboratoire de la Cie des Chemins de fer du Midi, à Bordeaux.

M. le PRÉSIDENT déclare le scrutin ouvert pour la nomination du Vice-Président, du Vice-Secrétaire et pour le renouvellement partiel du Conseil.

M. le PRÉSIDENT rappelle que le Rapport de la Commission des comptes sur l'exercice 1891 a été adressé à tous les Membres de la Société et demande s'il y a quelques observations à faire à ce Rapport. Personne ne demandant la parole, le Rapport de la Commission des comptes est mis aux voix et adopté.

M. le PRÉSIDENT proclame le résultat du vote.

Sont élus :

Vice-Président : M. LIPPMANN, Membre de l'Institut;
Vice-Secrétaire : M. DE LA TOUANNE, Ingénieur des Télégraphes.

Sont élus Membres du Conseil pour une période de trois années :

Membres résidants :

MM. AMAGAT, Correspondant de l'Institut.
HOSPITALIER, Professeur à l'Ecole de Physique et de Chimie industrielles de la ville de Paris.
KROUCHKOLL, Docteur ès Sciences.
LEDUC, Professeur au Lycée Louis-le-Grand.

Digitized by Google

Membres non résidants :

MM. **Blondlot**, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Nancy.
Chappuis (Pierre), Attaché au Bureau international des Poids et Mesures (Lausanne).
Gérard (Eric), Directeur de l'Institut électrotechnique de Montefiore (Liège).
Mouton, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences (Fontenay-sous-Bois).

M. **Friedel**, avant de quitter le fauteuil de la présidence, rend compte des travaux de la Société pendant l'année qui vient de s'écouler puis cède le fauteuil à M. **Violle**, Président pour l'année 1892.

Sur une similitude dans les fonctions des machines;

par M. E. **Carvallo**.

1. Pour étudier les machines dynamo, les praticiens ont intérêt à en représenter les principales fonctions par des courbes telles que les *caractéristiques* de M. Marcel Deprez. Quand on passe d'une machine à une autre, la courbe conserve généralement la même nature : *Pour passer de la première courbe à la deuxième, il suffit de changer les échelles des coordonnées.* C'est cette sorte de *similitude* qu'il s'agit d'expliquer. M. Lucas y est parvenu par un changement de variable pour deux cas qui ont suggéré à M. Carvallo un théorème général.

2. M. Lucas calcule un cas théorique simple d'alternateur (*Traité pratique d'Électricité*, Baudry; 1892). Si l'on regarde l'intensité moyenne du courant I comme fonction de la vitesse de rotation de la machine, c'est-à-dire de sa période T, en laissant constante la résistance totale R, on a une *courbe d'intensité*. M. Lucas obtient, pour la représenter, la formule

$$(1) \qquad I^2 = \frac{\dfrac{2\pi^2 Q^2}{T^2}}{R^2 + \dfrac{4\pi^2 L^2}{T^2}},$$

où Q est le flux inducteur maximum, et L le coefficient de self-induction de l'induit. Puis, il fait le changement de variables

$$(2) \qquad x = \frac{2\pi L}{R}\,\frac{I}{T}, \qquad y = \frac{L\sqrt{2}}{Q}\,I,$$

et obtient

$$(3) \qquad x^2y^2 + y^2 - x^2 = 0.$$

Digitized by Google

La courbe (3) est indépendante des données de la machine. La courbe (1) s'en déduit en changeant les deux échelles des coordonnées, et ce changement dépend des constantes caractéristiques de la machine. La similitude est donc établie. M. Lucas traite par la même méthode les *courbes de puissance*.

3. Voici maintenant la démonstration générale de M. Carvallo. Soit

$$(1) \qquad f(X, Y, A_1, A_2, \ldots) = 0$$

l'équation qui lie les variables X, Y aux constantes A_1, A_2, ... caractéristiques de la machine. Pour une autre machine du même type, on aura de nouvelles constantes B_1, B_2, ... et la nouvelle équation sera

$$(2) \qquad f(X, Y, B_1, B_2, \ldots) = 0.$$

Comme toute équation de la Physique, l'équation (2) est homogène par rapport aux trois grandeurs fondamentales : longueur, temps et masse. Si donc on choisit de nouvelles unités pour ces trois grandeurs, et si l'on représente par des petites lettres les nouvelles mesures des quantités représentées d'abord par les grandes lettres, on aura encore

$$(2)' \qquad f(x, y, b_1, b_2, \ldots) = 0.$$

Maintenant on peut disposer des trois unités fondamentales de façon à donner à trois nombres b_1, b_2, b_3 des valeurs égales aux nombres A_1, A_2, A_3 qui mesurent les constantes homologues de la première machine, dans le premier système d'unités. Dès maintenant on est conduit à supposer que l'équation (1) ne contient pas plus de trois constantes caractéristiques de la machine. Dans cette hypothèse, l'équation (2)' de la deuxième machine devient identique à l'équation (1) de la première. Seulement, dans la deuxième machine, les variables x et y sont évaluées dans un système d'unités différent de celui qui a servi à mesurer les variables homologues X et Y de la première. Ce changement d'unités est représenté graphiquement par un changement dans les échelles des coordonnées de la courbe caractéristique (2)'. En résumé, le seul principe d'homogénéité conduit à ce théorème général :

Si l'équation caractéristique d'une fonction d'un type de machines ne contient pas plus de trois constantes caractéristiques, les courbes des diverses machines de ce type se déduisent les unes des autres en changeant seulement les échelles des coordonnées.

Dans ce théorème général rentrent les deux exemples de M. Lucas : les équations de ces exemples sont à trois termes et, par suite, ne présentent que deux coefficients.

Digitized by Google

4. Le théorème est soumis à une restriction que la démonstration met en évidence : *il faut que les mesures des trois constantes caractéristiques soient des fonctions, indépendantes entre elles, des trois unités fondamentales.* Ce n'est pas le cas de l'équation différentielle du courant dans les alternateurs étudiés ci-dessus, savoir

$$I + \frac{L}{R}\frac{dI}{dt} - \frac{E_0}{R}\sin 2\pi\frac{t}{T} = 0,$$

où I est l'intensité à l'époque t, E_0 la force électromotrice maximum d'induction: L, R, T le coefficient de self-induction, la résistance de l'induit et la période.

L'équation contient bien trois coefficients seulement : $\frac{L}{R}$, $\frac{E_0}{R}$, $\frac{2\pi}{T}$; mais le premier et le dernier ont pour représentation symbolique

$$\frac{L}{R} = [T], \qquad \frac{2\pi}{T} = [T^{-1}].$$

Ils dépendent seulement du temps. On ne pourra donc pas choisir les unités fondamentales de façon à donner simultanément à ces deux coefficients des valeurs arbitraires. La démonstration générale échoue ainsi que les transformations de M. Lucas.

M. E. Hospitalier complète sa Communication du 17 juillet 1891 *sur les moteurs à champ tournant* en décrivant sommairement les machines génératrices à courants triphasés de M. Brown servant à la transmission d'une puissance électrique de 200 kilowatts entre Lauffen et Francfort (175^{km}), les transformateurs et les moteurs à courants triphasés de M. Dolino-Dobrowolsky. Il décrit ensuite les générateurs et les transformateurs à courants diphasés de M. Schuckert, ainsi que les appareils servant à transformer les courants polyphasés en courant continu.

Il termine en signalant les propositions adoptées par le Congrès international des Électriciens tenu à Francfort du 7 au 12 septembre 1891.

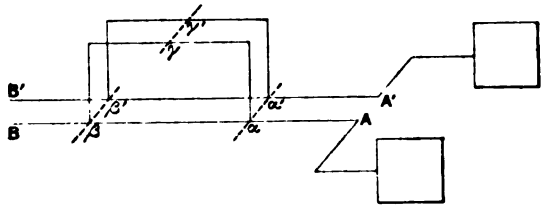
Sur la propagation des ondes électriques dans les fils. Note de M. Zilloff, lue par M. Guillaume. — Un de mes élèves, M. Bernacki, vient de répéter les expériences de M. Lecher, sur la propagation des ondes électriques le long des fils; il est arrivé à des résultats nouveaux et qui me paraissent dignes d'intérêt.

Le résonateur n'est autre qu'un tube de Geissler, qu'on pose sur les fils AB, A'B', lesquels n'ont aucune communication métallique avec les électrodes; on peut même placer le tube à une certaine distance au-dessus des fils et perpendiculairement à leur direction, sans qu'il cesse de s'illuminer.

Les ondes stationnaires de diverses longueurs se propagent simultanément, mais on peut annuler, à l'aide d'un pont placé en $\alpha\alpha'$, toutes les

Digitized by Google

ondes qui n'ont pas un nœud à cet endroit; si l'on place en ββ′ un second pont, on annulera de même toute une série d'autres ondes, et il ne restera que celles dont les nœuds sont simultanément en α et β. La distance αβ comprend donc un nombre entier de demi-ondes d'un certain système,



nombre qu'on peut aisément réduire à l'unité.

Les ponts jouent ici le rôle des coulisses qu'on intercale dans les tuyaux sonores, et qui ne modifient pas leur son, lorsqu'elles se trouvent sur un nœud de vibration.

Guidé par l'analogie acoustique, j'ai prié M. Bernacki de voir s'il était possible de bifurquer les ondes électriques. L'expérience réussit parfaitement et le tube s'illumine le long d'une paire de fils parasites greffés en deux points correspondants α, α′ des premiers; l'effet est augmenté dans les premiers fils, si l'on met un pont au nœud des seconds.

Poursuivant l'analogie, j'ai pensé qu'on pourrait produire l'interférence des ondes électriques, comme celles des ondes sonores, d'après le procédé de M. Kœnig. Une paire de fils, comprenant une longueur d'onde entière, étaient placés en αβ. α′β′ en dérivation sur les premiers; le tube de Geissler placé sur les fils principaux ne s'illuminait plus que très faiblement, tandis qu'il reprenait tout son éclat lorsqu'on mettait un pont sur les fils dérivés, à moins toutefois que ce pont ne se trouvât précisément en γγ′, à l'endroit du nœud de ces derniers. Dans ce cas, les ondes interféraient encore et le tube ne s'illuminait plus.

M. Guillaume présente quelques considérations sur la théorie de l'éclairage et l'utilisation de l'énergie dans les foyers de lumière.

On peut définir, comme *rendement organique* d'un appareil d'éclairage, le rapport de l'énergie rayonnante du foyer à l'énergie potentielle consommée dans le générateur : charbon de la machine à vapeur et oxygène dans un éclairage électrique, stéarine d'une bougie, etc. On a coutume, en outre, de définir le *rendement photogénique* d'une surface rayonnante par le rapport de l'énergie vibratoire comprise dans la partie visible du spectre à la totalité de la radiation émanée de la surface. Le produit de ces deux quotients est le *rendement total* du système d'éclairage.

On a souvent déterminé le rendement photogénique d'une lampe en faisant le quotient de l'énergie rayonnante traversant une certaine épaisseur d'eau à l'énergie rayonnante totale. Cette méthode, qui suppose l'absorption complète des radiations obscures par l'eau, ne saurait être exacte; mais

Digitized by Google

on admet, en général, qu'elle est suffisamment approchée. Elle fournit des valeurs du rendement atteignant 8 à 10 pour 100 pour les lampes à incandescence très poussées, et jusqu'à 20 pour 100 pour les lampes à arc. Or, si l'on détermine ce rendement en faisant le quotient des surfaces interceptées par l'axe des abscisses et la courbe d'intensité de la radiation, respectivement dans le spectre visible et dans la totalité du spectre, on trouve une valeur ne dépassant pas 2,5 pour 100 dans la lampe à arc. La différence provient de ce que l'eau laisse passer une certaine quantité de radiations obscures, presque négligeable vis-à-vis de la totalité, mais très importante si on la compare à l'énergie des radiations visibles. D'après M. Knut Angström, la radiation d'une lampe d'Argand qui a traversé une grande épaisseur d'eau contient encore plus de 10 pour 100 de l'énergie initiale sous forme de radiations obscures. Ces 10 pour 100, s'ajoutant aux 1 ou 2 pour 100 de l'énergie lumineuse que l'on veut mesurer, rendent près de dix fois trop grand le résultat que l'on cherche.

Si l'on multiplie le rendement photogénique de l'arc par le rendement organique de la production d'énergie électrique, soit 10 pour 100 au maximum, on arrive, pour l'éclairage par l'arc, à un rendement total maximum de *un quart pour cent*.

En comparant ce nombre avec les résultats trouvés par M. A. Witz sur les divers systèmes d'éclairage, on voit que le rendement total d'une bougie de stéarine est *inférieur à deux dix-millièmes*.

La définition du rendement photogénique est défectueuse, en ce que le spectre visible entre en bloc au numérateur, sans qu'il soit tenu compte de la sensibilité de l'œil, maxima dans le jaune verdâtre, et allant en diminuant rapidement vers les deux extrémités du spectre visible.

La sensibilité de l'œil est telle que, d'après les expériences concordantes de M. Langley et de M. Tumlirz, on perçoit une sensation lumineuse lorsque l'œil est frappé par des ondes de longueur convenable, dont l'énergie correspondrait à une petite calorie en un minimum de 180 millions d'années.

Le maximum de sensibilité de notre œil coïncide avec le maximum d'énergie dans le spectre solaire, ce qui montre que notre œil est spécialement organisé pour *utiliser* la lumière du jour. Le rendement photogénique de la radiation solaire est d'environ 14 pour 100.

La fonction photogénique du ver luisant ayant un but bien précis, nous sommes obligés d'admettre que l'œil de cet insecte est spécialement organisé pour la percevoir; or, comme la radiation émanée de l'abdomen du ver luisant se réduit, suivant Langley, à une bande étroite dans le jaune verdâtre, il en résulte que le maximum de sensibilité de notre œil concorde avec celui du ver luisant. Puisqu'il s'agit d'un phénomène de résonance, on en conclut que les éléments récepteurs de notre œil vibrent synchroniquement à ceux du ver luisant.

Digitized by Google

Décisions du Conseil de la Société française de Physique.

Dans sa séance du mercredi 27 janvier dernier, le Conseil de la *Société de Physique* a décidé :

1° Qu'un court résumé des décisions de chaque Conseil de la *Société de Physique* serait publié dans le prochain ordre du jour des séances de la Société;

2° Que la *Société de Physique* prendrait l'initiative d'une souscription publique pour élever à Paris une statue à Fresnel;

3° Que la Société prendrait à sa charge l'entretien annuel de la tombe de Fresnel au Père-Lachaise, cette tombe étant abandonnée;

4° Que l'exposition des appareils que la *Société de Physique* fait pendant la semaine de Pâques durera trois jours au lieu de deux, si des difficultés provenant du local de l'exposition ne s'y opposent pas.

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES
SUR L'EXERCICE 1891.

MESSIEURS,

La Commission que vous avez nommée pour la vérification des comptes de la Société a examiné les pièces de comptabilité qui lui ont été présentées par M. le Trésorier et a contrôlé l'état de la Caisse. Il résulte de ses opérations que, au 30 novembre 1891, la situation de la Société est la suivante :

Recettes.

		fr
La Caisse à l'ouverture de l'exercice 1891		145,25
	fr	
Cotisations arriérées	1139,00	
» 1891	7040,00	
» 1892	20,00	
Total des cotisations perçues	8199,00	8199,00
Droits d'entrée		150,00
Souscriptions perpétuelles		5570,00
Vente des publications de la Société		905,00
Intérêts du capital		1502,80
Vente au Ministère de l'Instruction publique de 20 exemplaires du Tome V (2e Partie du *Pendule*)		240,00
Reliquat de la souscription de d'Almeida		438,85
Remboursement d'une obligation		491,90
Divers		10,00
TOTAL DES RECETTES		17652,80

Digitized by Google

Dépenses.

	fr
Loyer du siège social	600,00
Supplément pour la location de la grande salle	140,00
Traitement de l'agent de la Société (11 mois)	1650,00
Supplément voté par le Conseil	100,00
Abonnements divers et reliure	423,65
Achats de livres	414,50
Bibliothèque circulante	74,75
Frais de bureau; étrennes	693,45
Recouvrement des cotisations	272,70
Frais d'expériences	583,14
Gravure du *Bulletin*	57,00
Distribution du *Bulletin*	612,90
Séance de Pâques	320,10
Divers (couronne Becquerel, tombe Fresnel, etc.)	157,50
Crédit lyonnais	33,55
Achat de 6 obligations Est	2653,50
Versé à MM. Gauthier-Villars et fils	7730,45
TOTAL DES DÉPENSES	16517,19

Balance des recettes et dépenses :

	fr
Recettes	17652,80
Dépenses	16517,19
Excès des recettes sur les dépenses, en caisse.	1135,61

Détail des comptes relatifs aux publications.

	fr
Ordre du jour des séances de novembre 1889 à juillet 1890.	
Solde du mémoire	1059,65
(Le mémoire s'élevait à 1300fr,69, sur lesquels 241fr,04 ont été payés en 1890.)	
Bulletin des séances (avril-juillet 1890, à 825 exemplaires)	912,75
Frais d'expédition de 200 Volumes des Mémoires	245,00
Acompte sur le Tome V (2e du *Pendule*)	5513,05
(Le mémoire total s'élève à 6611fr,60 pour 27 feuilles ¼ à 220fr la feuille, couverture, brochage, figures, à 1500 exemplaires.)	
TOTAL DES COMPTES RELATIFS AUX PUBLICATIONS	7730,45

Digitized by Google

Situation.

Actif.

	fr
69 obligations du chemin de fer du Midi (anciennes) nominatives (certificats n°s 110337, 118297, 137443), achetées 299 40^{fr}, 05. Valeur au cours du 30 novembre 1891	30825,75
3 obligations du chemin de fer du Midi (anciennes) au porteur (n°s 185901 à 185903), achetées 1182^{fr}, 32. Valeur au cours du 30 novembre 1891	1340,25
19 obligations du chemin de fer du Midi (nouvelles) au porteur (n°s 21093 à 21098; 151523 à 151526; 163843 à 163848; 344141 à 344143), achetées 7692^{fr}, 25. Valeur au cours du 30 novembre 1891	8483,50
10 obligations du chemin de fer de l'Est (nouvelles) au porteur (n°s 267609 à 267613; 283433 à 283434 et 508112), achetées 3997^{fr}, 50. Valeur au cours du 30 novembre 1891	4370,00
6 obligations du chemin de fer de l'Est (anciennes) nominatives (certificat n° 169980) achetées 2653^{fr}, 50. Valeur au cours du 30 novembre 1891	2659,50
TOTAL	47679,00

Volumes en dépôt chez MM. Gauthier-Villars et fils :

			fr
Coulomb	682 Volumes	à 6^{fr} le Volume	25212,00
Ampère I	740 »		
Ampère II	846 »		
Pendule I	889 »		
Pendule II	1045 »		
TOTAL	4202 Volumes		

Cotisations à recouvrer	600,00
Espèces en caisse	1135,61
TOTAL DE L'ACTIF	74626,61

Actif immédiatement réalisable, se composant de :

107 obligations	47679,00
Espèces en caisse	1135,61
TOTAL DE L'ACTIF IMMÉDIATEMENT RÉALISABLE	48814,61

Actif non immédiatement réalisable, se composant de :

4202 Volumes à 6^{fr} le volume	25212,00
Cotisations à recouvrer	600,00
TOTAL DE L'ACTIF NON IMMÉDIATEMENT RÉALISABLE	25812,00

Digitized by Google

La Commission a remarqué que la Caisse a recouvré, en 1891, 1139fr de cotisations arriérées et que ce chapitre de l'actif qui, en 1891, n'avait été évalué par prudence qu'à 900fr, n'est plus, aujourd'hui, que de 600fr. Il y a lieu d'espérer qu'il disparaîtra bientôt de notre Compte rendu financier.

Passif.

Les dettes de la Société consistent en mémoires dus à MM. Gauthier-Villars et fils, savoir :

	fr
Solde du 2e Volume du *Pendule*	1098,55
Bulletin des séances [3e fascicule 1890 (juillet à décembre 1890) à 825 exemplaires]	715,80
Bulletin des séances [1er fascicule 1891 (janvier à avril), 830 exemplaires]	798,55
Bulletin des séances [2e fascicule 1891 (avril à juillet), 830 exemplaires]	973,60
Ordre du jour des séances (novembre 1890 à juillet 1891) et frais d'envoi	1317,85
Circulaires diverses	419,65
Frais d'expédition de 257 exemplaires des Mémoires	223,50
TOTAL	5547,50

Statistique.

La Société comptait au 1er janvier 1891	741	Membres.
Elle a reçu en 1891	46	»
	787	Membres.
Total d'où il y a lieu de retrancher (dont 13 décès et 33 démissionnaires ou rayés).	46	
NOMBRE DES MEMBRES AU 30 NOVEMBRE 1891	741	

Savoir : à Paris, 391 ; en province, 220; à l'étranger, 130.

Les Membres perpétuels sont au nombre de 136, savoir :

		fr		fr
149	ayant versé	200,	soit	29800,00
12	»	150,	»	1800,00
9	»	100,	»	900,00
26	»	50,	»	1300,00
			TOTAL DES VERSEMENTS DES SOUSCRIPTEURS PERPÉTUELS	33800,00

Total auquel il faut joindre :

Du fonds Guébhard	9500,00
Pour le Volume des Constantes	5000,00
TOTAL	48300,00

Digitized by Google

Somme inférieure de 514fr,61 à l'actif immédiatement réalisable qui est de..... 4881 4,61

La Commission des comptes a l'honneur de vous proposer l'approbation des comptes de M. le Trésorier.

Paris, le 22 décembre 1891.

Les Membres de la Commission,

EIFFEL, A. MADAMET et P. POIRÉ, *Rapporteur.*

Digitized by Google

ALLOCUTION

PRONONCÉE DANS LA SÉANCE DU 15 JANVIER 1892

PAR M. FRIEDEL,

Président sortant de la Société française de Physique.

MES CHERS CONFRÈRES,

Mon devoir, avant de quitter le fauteuil de la présidence, où votre bienveillance extrême m'a appelé et soutenu pendant l'année qui vient de s'écouler, est de vous rappeler brièvement la marche de notre Société en 1891.

Cette marche a été normale et fort semblable à celle de l'année précédente. Le nombre des Membres au 1er janvier 1892 est de 741 (dont 391 habitent Paris, 220 la province et 130 l'étranger), c'est-à-dire exactement le même qu'au 1er janvier 1891. Nous avons bien admis 45 Membres nouveaux, mais malheureusement nous en avons perdu autant par décès, par démission ou par décision du Conseil, qui a dû, bien qu'à regret, régulariser la situation de Membres qui nous avaient abandonnés depuis longtemps de fait.

Les nombres de 1891 et de 1892 ne sont donc, en raison de cette dernière circonstance, pas tout à fait comparables, et je ne pense pas qu'il faille conclure de leur égalité que notre Société ait atteint une limite qu'elle ne puisse pas dépasser. Elle est trop active et trop vivante pour cela; les attractions qu'elle offre et les services qu'elle rend sont trop réels et s'adressent à un nombre de savants et d'hommes instruits assez grand pour lui assurer pendant

Digitized by Google

longtemps encore une croissance annuelle en rapport avec sa jeunesse et sa vigueur. Peut-être me sera-t-il permis, en vue de ce résultat, de recommander aux Membres actuels de ne pas négliger la propagande qu'ils peuvent faire autour d'eux.

Les vides que la mort a faits dans nos rangs ont été nombreux et douloureux. Hommage a été rendu à la plupart de nos anciens confrères au moment où leur perte a été portée à la connaissance de votre Bureau ; mais je dois vous rappeler encore une fois leurs noms, dont plusieurs sont d'ailleurs garantis contre l'oubli par la haute valeur de leurs travaux et qui, tous, ont droit de notre part à un souvenir ému.

Ce sont : MM. Reynier, l'ingénieur-électricien bien connu ; le colonel Goulier ; Edmond Becquerel, ancien Président et Membre honoraire de la Société ; le Dr Boudet de Paris ; Paul Périer, attaché au Bureau central météorologique ; Sauvage, ingénieur des Postes et Télégraphes à Evreux ; Gotendorff ; Pujalet, préparateur de Physique au Collège Rollin ; les abbés Lebossé et Desselligny ; le Dr Hardy, chef des travaux chimiques de l'Académie de Médecine ; van Biervliet ; de Lisleferme, ingénieur en retraite de la Marine ; Varin, professeur au Collège de Nancy.

Nos séances n'ont pas présenté moins d'intérêt que par le passé et notre nouveau Secrétaire général, M. Pellat, a mis à les préparer autant de soin et d'activité qu'en déployait avant lui son prédécesseur, M. Joubert. C'est là une heureuse tradition qui, remontant à l'origine de notre Société, est une des principales causes de son succès et dont elle doit être reconnaissante à ceux qui veulent bien lui donner une si large partie de leur temps et de leur dévouement.

43 Communications ont été faites devant vous sur les sujets les plus intéressants et les plus variés. C'est toujours l'électricité qui en fournit le plus grand nombre, et l'on ne saurait s'en étonner ; il y en a eu 15 ayant trait à cette branche de la Physique. Deux d'entre elles ont eu le caractère de véritables conférences, dans lesquelles M. Hospitalier, avec la compétence et le talent que vous lui connaissez, a bien voulu nous faire des exposés d'ensemble sur les travaux récents relatifs aux compteurs d'électricité et aux machines à courants alternatifs. De pareils résumés semblent devenir de plus en plus utiles en raison de la marche rapide de cer-

Digitized by Google

taines branches de la Science, au courant desquelles il n'est pas possible à chacun de se tenir, ne fût-ce qu'à cause du grand éparpillement des publications originales.

8 Communications ont porté sur les propriétés générales des corps; 7 sur des appareils de mesures; 6 sur l'Optique, parmi lesquelles je me permettrai de mentionner d'une manière spéciale celle que nous a faite mon cher confrère, M. Lippmann, sur sa belle découverte de la Photographie des couleurs; 3 sur la chaleur; plusieurs autres sur des sujets dont quelques-uns rentreraient difficilement dans les divisions ordinaires de la Physique; il y en a même eu de Chimie, sans que personne ait songé à se plaindre ou à s'étonner.

Il n'est ni de mon rôle, ni de ma compétence d'apprécier ces Communications et d'en faire ressortir la valeur. Vos applaudissements ont témoigné aux savants qui vous les ont faites votre reconnaissance et la satisfaction que vous a causée l'exposé de leurs travaux.

Nos séances de Pâques ont été particulièrement belles. Grâce à la réduction de prix de 50 pour 100 accordée gracieusement par les sept Compagnies de chemins de fer, auxquelles nous sommes heureux d'adresser encore une fois nos remerciements, le nombre des membres venus de province pour y assister a été assez considérable. Ils ont eu, comme nous, le plaisir de répondre à l'invitation qu'avait bien voulu nous adresser notre confrère M. Eiffel, de venir à la Tour du Champ de Mars inaugurer le grand manomètre de M. Cailletet et de visiter en même temps la Tour dans tous ses détails. Sous la gracieuse et infatigable direction de l'illustre ingénieur, nous y avons passé une journée presque entière et nous avons eu la satisfaction de voir ce beau monument, si hardiment conçu, exécuté avec tant de précision, mis d'une manière si libérale au service de la Science. Le même jour, notre savant confrère. M. Lœwy, se mettait obligeamment à notre disposition pour nous montrer son bel équatorial coudé. Nous avons admiré sa disposition ingénieuse et commode, son fonctionnement facile qui étonne lorsqu'on voit cette grande masse obéir sans exiger d'effort à la main de l'astronome; mais nous avons été privés du plaisir de juger de la beauté des images, le ciel s'étant couvert pendant notre visite.

Digitized by Google

Outre l'exposition habituelle d'appareils nouveaux et d'expériences encore peu connues, pour laquelle les savants et les constructeurs nous ont prêté comme d'ordinaire un concours empressé, nos séances de Pâques ont compris cette année deux Communications importantes faites par nos confrères MM. Amagat et Blondlot, sur la mesure de l'élasticité des solides et de la compressibilité des fluides et sur la constante diélectrique du verre.

Nous avons à adresser tous nos remerciements à MM. Cance, Harlé et Sautter, qui ont bien voulu organiser l'éclairage électrique des salles pendant l'exposition.

Une convention faite entre la Société d'encouragement, la Société chimique et la nôtre assure aux Membres des trois Sociétés l'usage des bibliothèques appartenant à chacune d'elles et qui, réunies dans un même local, formeront d'ici à quelque temps, nous avons le droit de l'espérer, une bibliothèque scientifique très complète.

La nôtre s'est accrue par l'achat de trente-cinq volumes, comprenant les Mémoires de Kirchhoff et de Helmholtz, les recherches de Faraday sur l'Électricité, le *Journal de Physique* de notre premier secrétaire général d'Almeida et plusieurs traités importants d'Optique, de Thermodynamique et d'Électricité, et par des dons parmi lesquels je relèverai celui du *Journal de Physique* de Delamétherie (1773-1818), qui nous a été offert par M. Guebhard, le généreux ami de notre bibliothèque, et celui des Ouvrages de Delezenne, donnés par Mlle Delezenne, fille du savant physicien de Lille.

Il serait à désirer que nos confrères, lorsqu'ils publient un Mémoire ou un Ouvrage, voulussent bien ne pas oublier, dans la distribution qu'ils en font, la bibliothèque de la Société.

Des échanges réguliers seront faits de nos publications contre la *Nature*, de Londres, les *Archives des Sciences physiques et naturelles*, de Genève, et contre celles de l'*Institution smithsonienne*.

Le Catalogue de notre bibliothèque est à l'impression et sera bientôt distribué aux Membres, sans frais pour la Société, grâce à la générosité de MM. Gauthier-Villars et fils.

Une convention avantageuse pour notre Société a été faite avec la Société d'encouragement pour la distribution de la force motrice

Digitized by Google

et de l'électricité dans le local dont nous avons la jouissance ; nous aurons le droit de nous en servir à des conditions très modérées.

En terminant, permettez-moi, mes chers confrères, de vous adresser mes remerciements les plus sincères pour le grand honneur que vous m'avez fait en m'appelant à vous présider, honneur dont je vous resterai toujours reconnaissant.

Vous avez voulu montrer, sans doute, en portant votre choix sur un chimiste, qu'à vos yeux la Physique et la Chimie ne sont pas aussi éloignées l'une de l'autre que quelques-uns affectent de le croire. C'est une vérité que la marche de la Science rend de plus en plus évidente, mais qui ne date pas d'hier.

Il s'en est fallu de bien peu, de deux ou trois voix peut-être, que votre Société prît naissance quelque quatorze ans plus tôt, au sein même de la Société chimique. Dans les premiers temps de celle-ci, quelques-uns de ses Membres, parmi lesquels je ne citerai que Wurtz, avaient proposé que les Communications de Physique fussent admises à l'ordre du jour. Après une vive discussion, il se trouva une faible majorité d'amis exclusifs de la cornue pour repousser la Physique. Mais beaucoup d'autres ont toujours regretté cette étroitesse, qui fut d'ailleurs corrigée en quelque mesure par le choix des sujets de certaines Leçons et Conférences qui furent faites devant la Société chimique par Jamin, Lissajous, Ed. Becquerel, Verdet.

Après tout, il a peut-être mieux valu que la Société de Physique eût une origine tout à fait indépendante. Formant une branche de la Société chimique, vous auriez forcément pris et conservé quelque chose de ses allures, et ce qui fait votre force c'est votre originalité, votre largeur, la parfaite harmonie de vos Membres, les sympathies vives et éclairées qui vous entourent.

Il est préférable d'ailleurs de tendre à un rapprochement de plus en plus grand en poursuivant un même but, la recherche de la vérité, dans des terrains très voisins, qui souvent empiètent l'un sur l'autre, plutôt que de diverger comme les branches d'un arbre, après être sortis d'un tronc commun.

C'est à ce rapprochement que tout nous invite et que je serai toujours heureux de prêter la main. Je souhaite aux deux Sociétés qu'il porte les fruits qu'on est en droit d'en attendre.

Digitized by Google

SÉANCE DU 5 FÉVRIER 1892.

Présidence de M. Lippmann.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 janvier est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. d'Attainville, Docteur en Médecine à Paris.

Berthelot (Daniel), Docteur ès Sciences, Préparateur à la Faculté des Sciences de Paris.

l'abbé Brouquier, Directeur du Petit Séminaire de Toulouse.

Labatut, Préparateur à la Faculté des Sciences, Professeur suppléant à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Grenoble.

Pointelin, Professeur au Lycée d'Amiens.

Roux, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à l'Ecole Sainte-Geneviève.

Sentis, Professeur au Lycée de Grenoble.

Vandevyver, Docteur ès Sciences, Répétiteur à l'Université de Gand (Belgique).

M. Lippmann, Vice-Président, donne lecture de la lettre suivante adressée par M. Violle, Président de la Société pour l'année 1892 :

Paris, le 4 février 1892.

Mon cher Collègue,

Je prie la Société française de Physique d'agréer mes regrets et mes excuses pour mon absence à la dernière séance. Retenu au Conservatoire des Arts et Métiers, je n'ai pas pu, comme je l'aurais voulu, remercier la Société du très grand honneur qu'elle m'a fait en m'appelant à la présider cette année. Je désirais aussi adresser au nom de la Société tous nos remerciements à notre éminent Président, M. Friedel, et le prier d'accepter l'expression de notre vive gratitude.

Vous voudrez bien, mon cher Collègue, être mon interprète auprès de la Société et recevoir l'assurance de mes sentiments affectueux et dévoués.

J. Violle,
Président de la Société française
de Physique.

M. Lippmann adresse des remerciements à la Société pour l'honneur qu'elle lui a fait en l'appelant à la Vice-Présidence de la Société.

M. de la Touanne, élu Vice-Secrétaire et MM. Amagat, Hospitalier, Krouchkoll, Leduc, Blondlot, Chappuis (P.), Gérard et Mouton, élus Membres du Conseil, adressent leurs remerciements à la Société.

Digitized by Google

M. le Secrétaire général annonce qu'à la dernière séance du Conseil le Président a reçu de M. Gauthier-Villars une lettre lui apprenant qu'un donateur qui désire garder l'anonyme a payé tous les frais d'impression de la Société durant l'année 1891, frais s'élevant à la somme de 5547^{fr},50.

La Société vote des remerciements au donateur anonyme et M. le Secrétaire général espère que celui-ci les verra insérés dans le Bulletin.

A la même séance du Conseil le commandant Defforges a remis à notre Trésorier un chèque de 1500^{fr} signé de M. Bischoffsheim.

La Société vote des remerciements à M. Bischoffsheim.

M. P. Curie, Secrétaire, donne communication d'une Note envoyée au Président de la Société par M. Lagrange, professeur à l'École Militaire de Bruxelles.

MM. Lagrange et Hoho ont étudié le phénomène qui se produit lorsque l'on fait passer dans un électrolyte un courant intense à l'aide d'électrodes de faible surface. L'électrode négative est alors entourée d'une gaine lumineuse.

Le Secrétaire rappelle que les Membres de la Société connaissent bien ce phénomène qui a été réalisé devant eux par MM. Violle et Chassagny, dans la séance de Pâques de l'année 1890.

MM. Lagrange et Hoho annoncent que, dans leur travail, ils ont donné une étude historique des recherches déjà faites sur ce sujet. Dans leurs expériences ils se sont appliqués à préciser complètement les conditions dans lesquelles ils opéraient.

Ils ont d'abord cherché comment se fait la transition entre l'électrolyse normale et l'électrolyse avec gaine lumineuse. Pour cela, ils augmentaient progressivement la force électromotrice extérieure et mesuraient, en même temps que celle-ci, l'intensité du courant. Ils ont ainsi distingué plusieurs phases bien nettes dans la transition.

Les auteurs ont ensuite mesuré la différence de potentiel existant entre l'électrode et l'électrolyte de part et d'autre de la gaine lumineuse. En opérant avec des solutions d'acide sulfurique dans l'eau, on trouve que la courbe qui représente la relation entre cette différence de potentiel et la concentration de l'acide dans la liqueur affecte la même allure générale que la courbe représentant la résistance de l'acide en fonction de la concentration.

MM. Lagrange et Hoho ont encore montré que la résistance de la gaine lumineuse dépend de la nature de l'électrolyte et aussi de celle de l'électrode, ce dernier résultat pouvant s'expliquer par la présence de particules de l'électrode dans la gaine lumineuse. Enfin la forme géométrique de l'électrode a une influence sur la résistance de la gaine.

M. A. Berget présente un travail de M. Constantin Miculesco, effectué au laboratoire de M. Lippmann pendant l'année 1891. L'auteur s'est pro-

Digitized by Google

posé de déterminer l'équivalent mécanique de la calorie par la méthode de Joule en annulant les corrections calorimétriques, et en opérant sur une quantité de travail plus considérable.

A cet effet, il a employé un bâti oscillant portant un moteur Gramme de 1 cheval, l'axe d'oscillation du bâti coïncidant avec l'axe de rotation du moteur. Ce dernier se prolonge dans un calorimètre à eau et actionne des hélices de bateau alternativement *dextrorsum* et *sinistrorsum*. Le calorimètre est disposé de façon à permettre la mesure à *température constante* imaginée par Hirn et appliquée par le Dr d'Arsonval. La réaction de l'induit sur l'induction tend à faire tourner le bâti en sens inverse du mouvement de rotation. On le ramène à sa position d'équilibre à l'aide d'une force de moment connu.

Le travail et la chaleur sont ainsi mesurés par des méthodes de zéro. Le résultat est :

Dans le système du kilogrammètre,

$$J = 426,7;$$

en unités C.G.S.,

$$J = 4,1857 \times 10^7.$$

M. Guillaume insiste sur la nécessité d'exprimer, dans une même échelle thermométrique, toutes les constantes dans lesquelles une mesure de température intervient. Dans l'intervalle de 10° à 20°, les degrés du thermomètre à hydrogène sont de 3 à 4 pour 1000 plus grands que ceux du thermomètre à mercure en verre dur; le passage d'une échelle à l'autre modifie déjà de 1 à 2 unités le troisième chiffre de l'équivalent.

Jusqu'ici, la comparaison avec les nombres de Joule comporte une légère incertitude; mais, d'après une communication personnelle, M. le professeur Schuster, de Manchester, est en possession des thermomètres dont Joule s'est servi et qui ont pu être identifiés avec certitude. Ils seront prochainement comparés à un étalon en verre dur.

Sur l'aplanétisme; par M. A. Broca. — Quand on se donne un système centré de révolution et un rayon incident issu d'un point de son axe, le conjugué de celui-ci, par rapport au système total, coupe l'axe en un point qui dépend de deux éléments : 1° le point où le rayon incident coupe l'axe; 2° le point où il perce la première surface.

Ce dernier point peut être défini par une ouverture angulaire ω_1, comptée autour d'un point fixe C_1, à partir de l'axe.

Pour des valeurs assez petites de ω_1, on pourra développer la distance de l'image à un point fixe suivant les puissances croissantes de ω_1.

Si les deux premiers termes qui contiennent ω_1 sont $A\omega_1^n + B\omega_1^{n+r}$, il est aisé de démontrer que, l'aberration étant en général de l'ordre ω_1^n, il y a un nombre limité de points réels ou imaginaires situés sur l'axe du système, et tels que l'aberration y soit de l'ordre de ω_1^{n+r}. En ces points, l'aberration change de signe.

Digitized by Google

Pour les systèmes sphériques, on voit que $n = r = 2$, donc qu'il y a des points réels ou imaginaires où l'aberration est de l'ordre de ω^4.

La connaissance de ces points est très importante. Si, en effet, le point utile d'un instrument coïncide avec un de ces points, on aura un résultat satisfaisant. Si l'on ne peut y arriver, on peut composer le système total de deux systèmes partiels compensant en partie leurs aberrations.

En répétant cette opération assez souvent, l'analyse démontre qu'on peut arriver à rendre les aberrations tant sphériques que chromatiques aussi petites qu'on veut. Mais la solution analytique du problème est impossible, et la complication des instruments est un écueil.

Le but de ce travail est d'essayer de simplifier les instruments, en indiquant le moyen de construire des lentilles à points aplanétiques déterminés. Nous étudierons la lentille crown-flint, afin de pouvoir réaliser l'achromatisme.

L'équation d'aplanétisme, dans ce cas, contient des termes en n_1 et n_2 (n_1 et n_2 sont les indices de réfraction) tels que, lorsqu'on y fait $n_2 = n_1$, on retombe sur l'équation obtenue en considérant la lentille comme homogène. Nous avons donc la valeur principale des inconnues en faisant cette hypothèse, et le moyen de continuer le calcul par approximations successives.

Discutons donc le cas de la lentille homogène. Soient γ_1, γ_2 ses rayons de courbure, α la distance des centres, comptée positivement du côté d'où vient la lumière, ρ_0, ρ_1, ρ_2 les distances d'un point et de ses conjugués successifs aux centres des sphères correspondantes.

Posons

$$y = \frac{\gamma_2}{\gamma_1}, \qquad x = \frac{\alpha}{\gamma_1}, \qquad \alpha = \frac{\rho_0}{\gamma_1}, \qquad \alpha_1 = \frac{\rho_1}{\gamma_1}, \qquad \alpha_2 = \frac{\rho_2}{\gamma_2},$$

l'aplanétisme exige l'ensemble des deux relations

$$(1) \qquad \begin{cases} y = \dfrac{\alpha^2(n+\alpha)(1-\alpha)[n-(n-1)\alpha_2]^4}{[n-(n-)\alpha]^4\alpha_2^2(n+\alpha^2)(1-\alpha_2)}, \\ x = \dfrac{\alpha}{n-(n-1)\alpha} - y\dfrac{\alpha_2}{n-(n-1)\alpha_2}, \end{cases}$$

relation entre x, y et α mise sous forme unicursale en fonction du paramètre α_2.

La représentation de la surface (1) par les courbes $\alpha =$ const. donnera un abaque, au moyen duquel on pourra résoudre les deux questions suivantes : 1° trouver les données d'une lentille ayant un point aplanétique déterminé; 2° trouver les points aplanétiques d'une lentille donnée (l'épaisseur d'une lentille est l'ordonnée comprise entre la ligne

$$-1 + x + y = 0,$$

et son point représentatif).

Digitized by Google

Cet abaque a été construit et a montré les faits suivants. Toute lentille possède 0, 2 ou 4 points aplanétiques.

Les lentilles convergentes minces ont toutes 2 points aplanétiques voisins de leurs surfaces. Quand y est compris entre 1,9 et $\frac{1}{1,9}$, à ces 2 points viennent s'adjoindre deux autres qui donnent du grossissement et sont utilisables.

Les lentilles divergentes minces n'ont pas de points aplanétiques sauf pour y compris entre 1,9 et $\frac{1}{1,9}$, cas auquel elles en ont deux analogues à ceux de lentilles convergentes de la région analogue.

Pour neuf droites déterminées du plan, les lentilles jouissent de points aplanétiques qui sont absolus. Les seules susceptibles d'application pratique sont celles de la droite $x = -\frac{1}{n}$.

On peut, en prenant une épaisseur convenable, construire une lentille à foyer aplanétique. Ces foyers aplanétiques sont toujours virtuels dans les régions utilisables (les régions à foyers réels doivent être rejetées pour raison d'achromatisme).

Enfin, si l'on veut perfectionner un instrument par comparaison des aberrations d'une lentille par celles des suivantes, on peut voir que ceci n'aura jamais lieu si l'on n'emploie que des lentilles minces toutes convergentes ou toutes divergentes. Cela est possible au contraire avec les lentilles épaisses. Donc on peut conclure qu'au point de vue de l'aplanétisme le rôle de l'épaisseur des lentilles est prépondérant.

Sur la détermination de l'équivalent mécanique de la calorie;

PAR M. C. MICULESCU (1).

Dans les recherches dont je vais exposer ici les points principaux, je me suis proposé de déterminer par une méthode directe l'équivalent mécanique de la calorie.

A cet effet, j'ai cherché à réaliser la mesure du travail et celle de la chaleur par des *méthodes de zéro*, tout en augmentant les valeurs absolues des quantités mesurées.

Dans la méthode de Joule le travail mis en jeu était fort petit; il en était de même, forcément, pour la quantité de chaleur

(1) Ce travail est extrait d'un Mémoire plus étendu publié dans les *Annales de Chimie et de Physique.*

Digitized by Google

dégagée. Pour pouvoir mesurer cette dernière avec quelque précision dans la lecture du thermomètre, il fallait donc faire durer l'expérience pendant un temps assez long et répéter vingt fois la chute du poids moteur, ce qui entraînerait, pour l'expérience, une durée totale de trente-cinq minutes. Les corrections dues au refroidissement, qui est proportionnel au temps, prenaient, dès lors, une importance énorme.

J'évite cet inconvénient en réduisant à quelques minutes la durée de la mesure; je puis néanmoins augmenter la précision des mesures en opérant : 1° avec une force motrice considérable (un cheval-vapeur); 2° avec des appareils thermométriques d'une grande sensibilité, employés concurremment avec une méthode calorimétrique exempte de corrections.

Pour mesurer le travail, je suspends le moteur sur un bâti mobile autour d'un axe horizontal, qui coïncide géométriquement avec l'axe de rotation de la machine; dès que cette dernière tourne en effectuant un travail extérieur, le bâti tend à s'incliner en sens inverse de la rotation; on le ramène à la position d'équilibre en lui appliquant une force de moment connue.

Le moteur est donc lui-même son propre dynamomètre.

Quant à la quantité de chaleur, elle est mesurée par la méthode à *température constante :* autour du calorimètre proprement dit, fixé indépendamment du bâti oscillant, et dans l'eau duquel tournent des hélices de bateau, circule un courant d'eau froide dont on règle la vitesse de façon que l'eau calorimétrique ne s'échauffe pas. Le poids d'eau écoulée pendant un temps donné peut mesurer la chaleur dégagée pendant ce même temps.

Je me suis placé dans une des caves du laboratoire des Recherches physiques de la Sorbonne, les conditions extérieures de température étant à peu près constantes dans ces conditions.

Avant d'effectuer les mesures définitives, j'avais d'ailleurs fait plusieurs séries d'expériences préalables, à l'aide d'un appareil que j'avais construit moi-même; le moteur, construit par Trouvé, avait une force moindre que 17^{kgm}.

Le calorimètre était à une seule enveloppe.

Dans ces conditions et malgré l'imperfection de cet appareil, j'avais trouvé le nombre 436, nombre trop fort; mais beaucoup de corrections ne pouvaient se faire avec cet appareil primitif;

Digitized by Google

c'est ce qui m'a engagé à entreprendre les expériences qui font l'objet du présent Mémoire.

Détails de l'appareil. — L'appareil se compose essentiellement : d'un moteur, d'un calorimètre, d'un dynamomètre et d'organes accessoires servant aux liaisons et à la mesure de la vitesse du moteur.

Le *moteur* que j'ai employé était une machine Gramme (¹), pesant 43^{kg}, d'une puissance d'un cheval-vapeur et tournant avec une vitesse de 1200 tours par minute. Elle était alimentée par le courant de 40 accumulateurs Pollak; ce courant était amené par deux fils dans deux godets de mercure, où arrivaient les deux extrémités des fils de la machine, qui étaient placés dans un plan vertical passant par l'axe de l'appareil.

Le *calorimètre* est disposé suivant le prolongement de l'axe horizontal du moteur; il est établi de façon à satisfaire aux exigences de la calorimétrie de précision. Il se compose de quatre cylindres concentriques en cuivre : les deux extérieurs en laiton et les deux intérieurs en cuivre rouge.

De plus, le cylindre extérieur est recouvert d'une enveloppe en feutre d'un centimètre d'épaisseur, comme cela a lieu dans le calorimètre Berthelot.

Le cylindre intérieur *a* (*fig.* 2), qui contient 2850^{gr} d'eau, porte trois palettes longitudinales *p*, *p*, *p*, distantes d'un tiers de circonférence, ayant une largeur de 15^{mm}, et d'autres palettes circulaires *g* de même largeur; les palettes longitudinales s'opposent aux mouvements circulaires du liquide calorimétrique et les palettes circulaires aux mouvements longitudinaux.

L'eau est versée dans ce cylindre *a* par un tube en laiton G (*fig.* 1), vissé dans un écrou en ébonite solidaire du cylindre *a*.

Un courant d'eau arrive par le tube *e'* (*fig.* 1 et 2), coudé à angle droit et muni d'un robinet *r'*, dans l'espace annulaire limité par les cylindres *a* et *b*, qui pouvaient contenir 1200^{gr} d'eau; il sort par un tube semblable *e* à la partie supérieure qui, à son tour,

(¹) Ce moteur a été obligeamment prêté par M. H. Fontaine.

Digitized by Google

est munie du robinet *r*. Ces deux tubes, portés par des écrous en

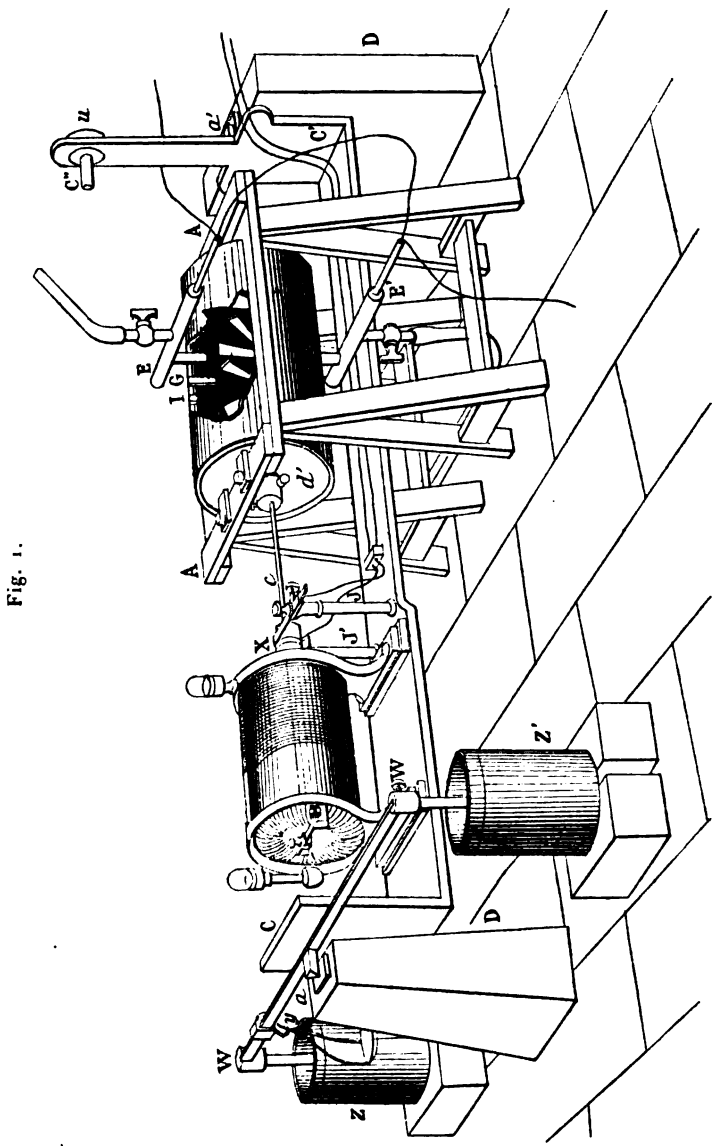


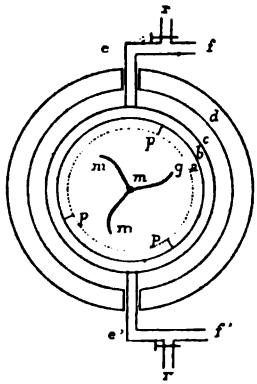
Fig. 1.

ébonite, fixés sur le cylindre *b*, sont disposés aux extrémités d'un même diamètre.

Digitized by Google

L'espace annulaire, compris entre les cylindres *b* et *c*, est plein d'air qui peut communiquer avec l'atmosphère extérieure par les discontinuités des deux cylindres extérieurs. Enfin l'enceinte *cd*

Fig. 2.



Section perpendiculaire à l'axe du calorimètre.

est remplie de l'eau (près de 10^{lit}) que l'on versait par l'orifice I.

Les cylindres *a*, *b*, *c* sont isolés thermiquement les uns des autres, par des pièces de jonction en ébonite.

Le *dynamomètre* se compose d'un levier en chêne ayant 125^{cm} de longueur, deux fois coudé à angle droit en C et C′ et reposant par deux couteaux en acier *a*, *a* sur deux blocs en pierre D, D, posés eux-mêmes sur une plaque en marbre scellée dans le sol.

Le couteau *a* est solidaire du fléau WW, portant en *y* un plateau de balance et à ses extrémités deux cylindres en bois Z, Z, immergés dans des vases contenant une dissolution de glycérine, dans le but d'amortir les oscillations de l'appareil. Le fléau WW est formé d'une règle en laiton divisée en millimètres dont le zéro coïncide avec l'arête du couteau *a*. Le plateau *y* peut être déplacé sur le fléau et fixé en tel point que l'on désire par une vis de serrage. Son chariot est muni d'un trait à partir duquel on compte la distance au couteau.

Le bras vertical C′C″ porte une masse de plomb *u* que l'on peut élever ou abaisser verticalement et qu'une vis de serrage maintient en place, lorsque le maximum de sensibilité est obtenu.

Digitized by Google

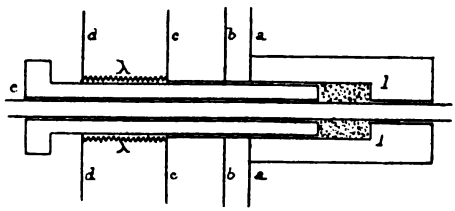
Le moteur est vissé sur le plan horizontal C′C, de manière que son axe soit parallèle à ce banc et dirigé suivant l'axe commun des deux couteaux *a*, *a′*.

L'axe du moteur entraîne dans son mouvement de rotation un *interrupteur* X, composé de petits cylindres, l'un en ébonite et l'autre en cuivre. Une feuille mince de cuivre recouvre la moitié de la surface du cylindre en ébonite, continuant par là la surface du cylindre en cuivre. Le cylindre et la feuille de cuivre communiquent aux bornes J, J′ par deux tiges de cuivre munies de balais.

L'axe de la machine se continue par un lien flexible *c*, reliant le moteur avec l'axe du calorimètre. Ce lien *c* est formé d'un fil de laiton d'un diamètre de 3^{mm}, autour duquel sont enroulés en boudin six fils d'un plus faible diamètre. Il a une longueur de 17^{cm} et a pour but de laisser à l'axe du moteur un jeu suffisant.

L'axe horizontal du calorimètre se compose d'une tige de cuivre de 8^{mm} de diamètre, isolée de la partie antérieure par une pièce en ébonite *d′*; il pénètre dans le calorimètre à travers une *boîte à étoupe* qui est représentée (*fig.* 3).

Fig. 3.



Elle se compose d'un cylindre en ébonite *e*, vissé dans l'écrou λ, qui sert pour presser l'étoupe ε contre le tourillon *t* en forme de boîte, fixé par son pourtour sur la paroi du cylindre *a*.

On remarquera que la boîte à étoupes et le point d'appui de l'autre extrémité de l'axe du calorimètre, c'est-à-dire les points où il y a frottement et, par suite, dégagement de chaleur, sont situés *à l'intérieur même du calorimètre* et, par conséquent, la chaleur ainsi dégagée, qui, dans les appareils déjà employés dans ces sortes de mesures, échappait à la mesure directe et nécessitait une mesure

Digitized by Google

supplémentaire de correction, est ici communiquée à l'eau du calorimètre et par conséquent recueillie.

Onze systèmes de trois palettes en hélice sont distribués à égale distance le long de l'axe du calorimètre; elles vont se terminer très près de la paroi du cylindre *a* et, de plus, deux systèmes consécutifs d'hélices sont orientés de telle façon que, si l'un des systèmes rejette l'eau dans un sens, l'autre la rejettera dans le sens contraire.

Sur les faces du cylindre extérieur du calorimètre sont soudées, par leurs bras verticaux, deux pièces rectangulaires en laiton, permettant de faire reposer le calorimètre sur deux planches épaisses, supportées elles-mêmes par deux systèmes de bancs B, B, bien scellés sur la plaque horizontale de marbre.

Il est facile maintenant de comprendre la manipulation de l'appareil.

Il faut mesurer deux grandeurs, à savoir : le travail dépensé et la chaleur recueillie correspondante.

La mesure du travail est faite d'après une méthode dont le principe a été indiqué par M. Deprez (¹).

Imaginons qu'un moteur électrique soit actionné par un courant, l'induit tourne alors dans un certain sens, par exemple, dans le sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre; on peut diminuer le mouvement et même l'arrêter complètement en saisissant, par exemple, son axe entre les mâchoires d'un frein de Prony. Si le moteur est suspendu de manière à permettre à l'inducteur de se déplacer, la réaction qu'exerce sur lui l'induit tendra à le faire tourner dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre et l'on pourra le ramener à sa position première en chargeant de poids le plateau d'un bras de levier qui lui est convenablement adapté perpendiculairement au plan de symétrie vertical de la machine.

Si P' est le poids nécessaire pour le ramener à la position d'équilibre et l la longueur du bras de levier, le moment de la force qui fait équilibre à la réaction de l'induit est égal au produit $P'l$. En desserrant le frein, l'induit reprendra un mouvement de rotation

(¹) *Association française pour l'avancement des Sciences*, 2e session, p. 235; 1882.

Digitized by Google

avec une vitesse d'autant plus grande que le frein résistera moins; dès lors, l'inducteur, dont on avait déchargé les bras du levier, s'inclinera encore, mais d'un angle moindre que dans la première expérience.

Si P est le poids qu'il faut placer dans le plateau pour ramener l'inducteur à sa position première d'équilibre, le travail dépensé sur le frein est égal pour n tours de l'induit à

$$T = n 2\pi l P.$$

Dans l'appareil que j'ai employé, c'est la résistance opposée par l'eau du calorimètre au mouvement des hélices qui jouait le rôle de frein. Sous cette action le balancier CC', qui porte le moteur électrique, s'incline autour de l'axe des couteaux a, a'. En mettant un poids P dans le plateau y, on ramène le balancier dans sa première position d'équilibre.

Pour observer cette position d'équilibre, un miroir vertical est fixé au balancier et orienté de façon à réfléchir, suivant l'axe d'une lunette placée à $1^m,30$ environ, l'image d'une règle verticale divisée, et distante du miroir d'environ $0^m,80$.

Avant de mettre le moteur en marche, on observe quelle est la division de la règle qui coïncide avec le fil horizontal du micromètre de la lunette. Le moteur étant mis en marche, on dépose des poids dans le plateau y jusqu'à ce que la même division de la règle revienne coïncider avec le fil du réticule.

De cette façon le poids P se trouve déterminé, sa valeur varie dans chaque expérience.

Pour pouvoir calculer le travail T, correspondant à une certaine durée pendant laquelle l'induit fait n tours, par la formule

$$T = n 2\pi l P,$$

il faut encore connaître l et n.

La longueur du bras de levier l est la distance comprise entre l'arête du couteau a jusqu'au centre de gravité du plateau, qui était marqué par un trait sur son chariot; alors on lit avec quelle division de la règle ww le trait coïncide et l'on trouve ainsi la valeur de l.

Reste à trouver le nombre de tours n de l'induit. A cet effet,

Digitized by Google

les extrémités du fil de l'électro-aimant de l'enregistreur de Marey étaient reliées aux bornes J, J des balais de l'interrupteur X. Cet électro-aimant était excité chaque fois que la partie conductrice du cylindre d'ébonite venait toucher au balai relatif à la borne J'; au contraire, le courant cessait dans l'électro-aimant dès que l'ébonite venait au contact du balai; par suite, l'armature munie d'un stylet en contact avec la surface enfumée d'une feuille de papier enroulée sur le cylindre enregistreur traçait une encoche pour chaque tour de l'induit.

Il suffisait donc de compter le nombre des encoches inscrites pendant la durée de l'expérience pour obtenir le nombre n correspondant.

On possède alors toutes les données numériques nécessaires à l'évaluation du travail T.

Nous avons dit que le courant du moteur électrique provenait d'une série de quarante accumulateurs Pollak. Si, par hasard, l'intensité du courant diminuait, pour la maintenir constante, un rhéostat à mercure est intercalé dans le circuit.

Il n'était pas nécessaire, pour s'assurer de la constance du courant, d'employer un galvanomètre. En effet, l'appareil indiquait lui-même si le courant était constant, car, s'il venait à diminuer, la vitesse de rotation de l'induit diminuerait aussi et, par suite, le couple résistant, d'où devrait résulter un changement d'inclinaison du balancier; si donc on agit sur le rhéostat de façon à maintenir en coïncidence avec le fil du réticule de la lunette la même division de la règle, on est assuré que le courant excitateur du moteur conserve une intensité constante. Ce procédé fort simple est en même temps précis et sensible.

Mesure de la chaleur. — La quantité de chaleur dégagée dans le calorimètre, par suite du frottement, est mesurée par une méthode indiquée en principe par Hirn [1]. Dans une des méthodes qu'il a employées pour la détermination de l'équivalent mécanique de la calorie, la chaleur est produite par le frottement de l'eau comprise dans l'espace limité par deux cylindres de même axe sur

---

[1] Hirn, *Théorie mécanique de la chaleur*, 3e édition, p. 90 et 93.

Digitized by Google

la surface interne du cylindre extérieur, l'eau étant mise en mouvement par le cylindre intérieur. Cette eau se renouvelait à chaque instant, à l'aide d'un filet, qui était réglé de manière que l'eau, à sa sortie, conserve toujours la même température. Dans la balance du frottement, la chaleur produite était enlevée de la même manière par un filet d'eau froide.

M. d'Arsonval (1) a décrit, en 1877, à la Société de Biologie, une méthode pareille, et qu'il a employée depuis à l'étude de la variation de la chaleur dégagée par les êtres vivants avec le temps.

M. d'Arsonval appelle cette méthode *méthode calorimétrique à température constante*. Un courant d'eau froide circulait autour du calorimètre et lui enlevait à chaque instant la chaleur dégagée.

M. Hesehus (2) a appliqué à la méthode des mélanges, pour la mesure des chaleurs spécifiques des corps, la méthode à température constante, et, de cette manière, la formule calorimétrique se trouve beaucoup simplifiée.

Plus récemment, M. Mathias (3) a renversé, en quelque sorte, la méthode dans le but de mesurer la chaleur latente de vaporisation des gaz liquéfiés : il compense, à chaque instant, la chaleur absorbée par la vaporisation au moyen de la chaleur dégagée par la dilution de l'acide sulfurique concentré dans l'eau d'un calorimètre renfermant le récipient qui contient le gaz liquéfié, et de manière à maintenir constante la température de l'eau du calorimètre.

Dans les expériences que j'ai faites, j'ai employé cette méthode à température constante, qui est une méthode de zéro, de la manière suivante : Un courant d'eau entrant par le robinet r' et sortant par r, après avoir circulé dans l'espace annulaire compris entre les enceintes a et b pendant un temps égal à trente secondes environ, était réglé de manière que la température du calorimètre restât parfaitement constante et qu'elle ne dépassât pas celle du milieu ambiant de plus de 2°; dans de telles conditions les cor-

(1) D'Arsonval, *Comptes rendus de la Société biologique de Paris*, 1877.
(2) Hesehus, *Journal de Physique*, 2e série, t. VII, p. 489.
(3) Mathias, *Ibid.*, t. IX, p. 459.

Digitized by Google

rections de refroidissement étaient négligeables. La quantité d'eau écoulée était reçue dans un vase et pesée; d'autre part, la différence de la température de l'eau, à son entrée et à sa sortie, était mesurée au moyen d'un couple thermo-électrique dont les deux soudures étaient respectivement plongées dans les tubes f, f'.

Le courant d'eau est puisé dans un vase, d'une capacité d'environ 200^{lit} d'eau, et situé à $1^{m},20$ de hauteur au-dessus du sol. Ce vase était situé dans le même endroit que l'appareil, par conséquent l'eau était maintenue à la température ambiante.

Un agitateur, composé d'un axe sur lequel sont fixées deux hélices, servait à remuer constamment l'eau du grand vase pendant l'expérience. Cet agitateur faisait un tour à chaque deux ou trois secondes, et il était mis en mouvement à l'aide d'un petit moteur Trouvé de 15 kilogrammètres de force, qui était alimenté par le courant de quelques accumulateurs.

Pour m'assurer que l'eau ne s'échauffait pas par cette agitation pendant l'expérience, je me suis servi toujours du couple thermo-électrique en mettant une des soudures dans le grand vase, tandis que l'autre soudure était maintenue à température constante dans un vase avec de la glace fondante; le galvanomètre ne donnait aucune déviation appréciable pendant une durée supérieure même à celle d'une expérience.

Le *couple thermo-électrique* dont j'ai fait usage dans ces expériences était constitué par deux fils : l'un, de platine, avec un diamètre de $0^{mm},4$, et l'autre, en fer, de $0^{mm},6$ de diamètre. Ces deux fils étaient soudés par leurs extrémités sur le fond d'un petit vase cylindrique en cuivre, à parois très minces, de 8^{mm} de hauteur et 6^{mm} de diamètre. Deux tubes en verre concentrique donnaient passage aux deux fils pour qu'ils ne touchassent pas ailleurs qu'aux soudures; le tube en verre de plus gros diamètre, rodé à l'émeri, s'engageait dans le petit vase en cuivre et le fermait hermétiquement. Les deux soudures du couple étaient disposées de la même manière. Le fil de fer était coupé en deux, permettant de cette manière d'intercaler le couple dans un circuit quelconque. Sa résistance totale ne dépassait pas deux ohms. Une étude préalable, faite avec soin, m'avait permis d'établir une relation entre la force thermo-électrique de ce couple et la différence de température des deux soudures : je me suis servi pour cela d'un ther-

Digitized by Google

momètre en verre dur, de Tonnelot, que j'ai étudié sous la direction de M. Guillaume, au Bureau international des Poids et Mesures.

Marche d'une expérience. — Le calorimètre a étant rempli d'eau, le moteur était mis en marche et le balancier amené dans sa position d'équilibre en mettant d'abord des poids convenables sur le plateau y, puis en agissant convenablement sur le rhéostat; l'eau du calorimètre s'échauffait alors, et le courant d'eau froide était établi par *r'e'ber*, les soudures du couple thermo-électrique étant à leur place respectivement f et f' et intercalées dans le même appareil qui nous a servi à leur graduation.

Dès que le débit est réglé de façon que le galvanomètre reste au zéro, on est assuré que *le régime permanent est atteint;* alors on commence à recueillir l'eau qui s'écoule et on laisse l'expérience se continuer pendant une durée qui varie entre quatre et onze minutes, et qui dépend de la fixité du régime permanent, dont on peut juger d'une part par la constance du galvanomètre, et d'autre part par la division de la règle graduée qui doit rester en coïncidence avec le fil du réticule de la lunette.

Au moment même où l'on commence à recueillir l'eau, on ferme le circuit du compteur de tours, de manière que ceux-ci s'enregistrent sur le papier enfumé du cylindre.

On arrête le compteur de tours au moment même où l'on met fin à l'expérience, c'est-à-dire où l'on cesse de recueillir l'eau réfrigérante.

On mesure la force électromotrice e du couple thermo-électrique et l'on en déduit la différence de température θ du filet d'eau à l'entrée et à la sortie du calorimètre.

D'autre part, on pèse l'eau recueillie p, et par la formule

$$Q = p\theta c$$

on déduit la quantité de chaleur dégagée, c étant la chaleur spécifique de l'eau.

On lit les poids marqués déposés sur le plateau y; on connaît, d'autre part, la longueur l du bras de levier, et, si nous désignons par n le nombre total des tours comptés sur le cylindre enregis-

Digitized by Google

treur, nous avons le travail transformé par la formule

$$T = n.2\pi l P.$$

Connaissant la quantité de chaleur dégagée et le travail dépensé, l'équivalent mécanique de la calorie est donné par le quotient

$$J = \frac{T}{Q} = \frac{2\pi l n P}{p\theta c}.$$

Le filet d'eau réfrigérant était de l'eau distillée, et j'ai admis que, entre 10° et 13°, sa chaleur spécifique est égale à l'unité.

Dans le Tableau suivant, la colonne intitulée :

Durée donne la durée d'une expérience en minutes et en secondes;

n, le nombre total des tours de l'axe du calorimètre;

P, le poids en kilogrammes qu'il faut mettre dans le plateau de la balance, pour ramener le bâti mobile dans la position d'équilibre.

La longueur du bras de levier l qui n'est pas inscrite dans ce Tableau a été dans toutes les expériences la même : $l = 0^m,280$.

θ, l'élévation de température du filet d'eau après avoir circulé autour du calorimètre. Il est à remarquer qu'une goutte d'eau qui entrait par le robinet r' mettait en moyenne 40 secondes pour sortir par r.

Eau, la quantité d'eau écoulée.

Q, le nombre des kilogrammes-calories de chaque expérience.

J, la dernière colonne, donne la valeur de l'équivalent mécanique de la calorie en kilogrammètres, à Paris, rapportée au thermomètre à air, et considérant que la chaleur spécifique de l'eau est l'unité entre 10° et 13° centigrade.

Digitized by Google

TABLEAU VI.

Numéro de l'expérience.	Travail				Chaleur			
	Durée.	*n*.	P.	T.	θ.	Eau.	Q.	J.
	m s		kg	kgm	o	kg	kg-cal	
1....	8.54	10797	0,51482	9779,088	1,741	13,1691	22,9264	426,51
2....	11.33	14578	0,53488	13718,130	1,949	16,4947	32,1483	426,71
3....	6.40	8413	0,53511	7920,157	1,511	12,2870	18,5657	426,60
4....	4.11	5439	0,55137	5275,964	1,478	8,3649	12,3634	426,74
5....	4.37	5427	0,50067	4780,261	1,323	8,4594	11,1918	427,12
6....	7.43	10154	0,56058	10014,164	1,783	13,1607	23,4655	426,76
7....	9. 8	11367	0,53020	10602,914	1,377	18,0514	24,8568	426,56
8....	5.56	7447	0,53441	7001,574	1,776	9,2369	16,4048	426,79
9....	5 28	6741	0,52301	6202,394	1,681	8,6517	14,5436	426,52
10....	7.12	10247	0,61221	11036,464	2,018	12,8172	25,8651	426,69
11....	6.37	9274	0,59706	9741,410	1,785	12,7807	22,8136	427,00
12....	5.30	7368	0,59608	7726,821	1,749	10,3462	18,0955	427,02
13....	7.54	11012	0,59390	11505,822	1,825	14,7747	26,9640	426,71
14....	5. 6	7170	0,59891	7554,434	1,948	9,0948	17,7167	426,40
15....	4.24	6326	0,60541	6637,496	1,895	8,3306	15,7864	426,80
16....	4.21	5910	0,57020	5928,633	1,586	8,7686	13,9070	426,31
17....	4.15	5793	0,57521	5862,223	1,464	9,3951	13,7544	426,21
18....	4.17	5794	0,57620	5873,428	1,777	7,7529	13,7770	426,33
19....	5.24	7479	0,60021	7897,311	1,548	11,9448	18,4911	427,09
20....	4.21	6184	0,60558	6588,432	1,783	8,6626	15,4455	426,56
21....	4. 8	5748	0,59188	5985,392	1,730	8,1047	14,0211	426,88
22....	4. 2	5591	0,60021	5903,715	1,543	8,9672	13,8360	426,71
23....	5.40	7832	0,58874	8113,817	1,764	10,7895	19,0326	426,31
24....	4.55	6712	0,58152	6866,827	1,581	10,1904	16,1109	426,22
25....	4.45	6642	0,59543	6957,760	1,812	8,9961	16,3011	426,82
26....	5.38	7683	0,58142	7858,934	1,786	10,3075	18,4092	426,90
27....	5. 5	7188	0,60251	7619,247	1,732	10,2926	17,8265	426,41
28....	3.38	5152	0,60408	5475,341	1,583	8,1016	12,8248	426,93
29....	3.44	4260	0,48601	3642,375	1,257	6,7905	8,5357	426,72
30....	3.90	4180	0,55322	4068,314	1,792	5,3218	9,5362	426,63
31....	5.16	7111	0,57521	7196,118	1,778	9,4825	16,8601	426,81

La moyenne générale de toutes les expériences du Tableau précédent est

$$J = 426,7 \text{ en kilogrammètres}$$

et de

$$4,1857.10^7 \text{ dans le système C. G. S.},$$

admettant pour Paris

$$g = 980.96.$$

Digitized by Google

Le Comité international des Poids et Mesures a adopté, comme échelle thermométrique *normale,* l'échelle centigrade du *thermomètre à hydrogène;* alors, en faisant les corrections nécessaires pour réduire la valeur de J à cette échelle, on trouve

$$J = 426,84.$$

Les écarts donnés par divers expérimentateurs, entre l'échelle absolue et l'échelle normale, sont tellement petits qu'on ne peut pas même en fixer le signe entre 0° et 100°; par conséquent, cette dernière valeur de J peut être considérée comme réduite à l'échelle absolue.

Il est à remarquer que, si l'on réduit les observations de Joule à ce qu'elles auraient été *à Paris,* on trouve pour moyenne de ses nombres la valeur suivante

$$J = 426,5.$$

Il y a là un accord que j'ai cru intéressant de signaler.

Conclusions. — Dans le travail que je viens d'exposer, j'ai donc pu perfectionner la méthode de Joule en mesurant *directement* le travail dépensé et la chaleur produite, les deux mesures étant faites par une méthode de zéro.

De plus, en prenant un moteur d'une puissance relativement considérable (un cheval-vapeur), j'ai augmenté la quantité de chaleur produite pendant l'unité de temps, ce qui m'a permis de réduire à un temps plus court la durée de l'expérience.

J'ai obtenu ainsi, pour l'équivalent mécanique de la calorie, le nombre

$$J = 426,70,$$

dans lequel je crois le chiffre des unités *exact,* le chiffre des dixièmes 0,7 étant probable.

Ce travail a été effectué au laboratoire des Recherches physiques à la Sorbonne.

Appendice. — Tableau récapitulatif des principales déterminations de l'équivalent mécanique de la calorie.

Le Tableau suivant montre l'ordre chronologique des déterminations, et les méthodes très variées qui ont été employées.

Digitized by Google

Tableau I.

I. — *Méthodes directes.*

Date.	Observateur.	Méthode particulière.	Résultat.
1843	Joule (1).	Frottement de l'eau dans les tubes.	424,6
»	Joule (1).	Échauffement produit par les courants magnéto-électriques.....	460
»	Joule (1).	Diminution de la chaleur dégagée dans une pile quand le courant produit du travail.....	442,2
1845	Joule (2).	Compression de l'air.....	443,8
»	Joule (2).	Expansion de l'air.....	437,8
»	Joule (2).	Frottement de l'eau dans un calorimètre.....	488,3
1847	Joule (3).	Frottement de l'eau dans un calorimètre.....	428,9
1850	Joule (3).	Frottement de l'eau dans un calorimètre.....	423,9
»	Joule (3).	Frottement du mercure dans un calorimètre.....	424,7
»	Joule (4).	Frottement des plaques de fer dans un calorimètre.....	425,2
1857	Favre (5).	Diminution de la chaleur dégagée dans une pile quand le courant produit du travail.....	426-464
»	Hirn (6).	Frottement des métaux.....	371,6
1858	Hirn (6).	Frottement des métaux.....	400-450
»	Favre (7).	Frottement des métaux dans un calorimètre à mercure.....	413,2
»	Hirn (6).	Forage des métaux.....	425
1860-61	Hirn (6).	Eau dans la balance de frottement.	432
»	Hirn (6).	Écoulement des liquides sous une forte pression.....	433
»	Hirn (6).	Écrouissage du plomb.....	425

(1) Joule, *Phil. Mag.*, 3e série, t. XXIII.
(2) Joule, *Phil. Mag.*, 3e série, t. XXVI.
(3) » » t. XXVII.
(4) » *Phil. Transactions*, p. 61; 1850.
(5) Favre, *Comptes rendus*, t. XLV, p. 56.
(6) Hirn, *Théorie mécanique de la chaleur*, 3e édition.
(7) Favre, *Comptes rendus*, t. XLVII, p. 337.

Digitized by Google

TABLEAU I (*suite*).

Date.	Observateur.	Méthode particulière.	Résultat.
»	Hirn (1).	Frottement de l'eau entre deux cylindres	432
»	Hirn (1).	Expansion de l'air	440
»	Hirn (1).	Machines à vapeur	420-432
1865	Edlund (2).	Expansion et contraction des métaux	428,3-443,6
1870	Violle (3).	Échauffement d'un disque entre les pôles d'un aimant	435
1875	Puluj (4).	Frottement des métaux	425,2-426,6
1878	Joule (5).	Frottement de l'eau dans un calorimètre	423,9
1879	Rowland (6).	Frottement de l'eau dans un calorimètre	429,7-425,8
1891	D'Arsonval (7).	Échauffement d'un cylindre dans un champ magnétique	421-427

II. — *Méthodes indirectes.*

1842	Mayer (8).	Par la relation $J = \frac{p_0 v_0 \alpha}{C - c}$ des gaz.	365
1857	Quintus Icilius (9). Weber (10).	Chaleur développée dans un fil dont la résistance absolue est connue	399,7
»	Weber.	Chaleur due aux courants électriques; équivalent électro-chimique de l'eau = 0,009376	432,1

(1) HIRN, *Théorie mécanique de la chaleur*, 3e édition.
(2) EDLUND, *Pogg. Ann.*, t. CXIV.
(3) VIOLLE, *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXI.
(4) PULUJ, *Sitzungsberichte der kaiserlichen Academie der Wissenschaften in Wien*, mars, p. 667, juin, p. 53; 1875.
(5) JOULE, *Philosophical Transactions*, p. 365; 1878.
(6) ROWLAND, *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, p. 75; 1879-80.
(7) D'ARSONVAL, *Lumière électrique*, mars 1891.
(8) MAYER, *Liebig's Annalen*, t. XLII.
(9) QUINTUS ICILIUS, *Pogg. Ann.*, t. CI, p. 69.
(10) WEBER, *Phil. Mag.*, 4e série, t. XXX.

Digitized by Google

TABLEAU I (*suite*).

Date.	Observateur.	Méthode particulière.	Résultat.
»	Fabre. Silbermann.	Développement de la chaleur, par l'action du zinc sur le sulfate de cuivre.....	432,1
»	Bosscha (1).	Mesure de la force électromotrice de la pile Daniell d'après la mesure absolue $= 10257.10^7$....	432,1
1859	Joule.	Chaleur développée dans la pile Daniell.....	419,5
»	Bosscha.	Force électromotrice de l'élément Daniell.....	419,5
1859	Lenz-Weber.	Chaleur développée dans un fil dont la résistance absolue est connue.....	396,4-478,2
1867	Joule (2).	Chaleur développée dans un fil dont la résistance absolue est connue.....	429,5
1878	Weber.	Chaleur développée dans un fil dont la résistance absolue est connue.....	428,15
1888	Perot (3).	Par la relation $L = \frac{T}{E}(u' - u)\frac{dp}{dt}$.	424,63
1889	Dieterici (4).	Chaleur due aux courants électriques.....	432,5

Aplanétisme et achromatisme;

PAR M. A. BROCA.

Aplanétisme

1. *Principes généraux. Utilité des points aplanétiques au quatrième ordre près.* — Euler a étudié les aberrations focales des lentilles minces. Il en a déduit des règles très nettes pour la

(1) BOSSCHA, *Pogg. Ann.*, t. CXVIII, p. 162.
(2) JOULE, *Report of the Committee of electrical standards of the B. A.*, p. 175; 1873.
(3) PEROT, *Journal de Physique*, 2e série, t. VII, p. 139.
(4) DIETERICI, *Annalen der Physik und Chemie*, t. XXXIII, p. 417.

Digitized by Google

construction de l'objectif de la lunette astronomique ; mais, quand il s'agit du microscope, les épaisseurs des lentilles ne sont plus négligeables, les lentilles ne travaillent plus toutes à leur foyer, les calculs d'Euler ne s'appliquent plus.

J'ai cherché à introduire dans les calculs l'épaisseur et la position du point lumineux et à en tirer des résultats pratiques.

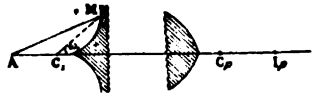
La première question est de savoir jusqu'à quel point on peut réaliser l'aplanétisme. Je vais établir à ce sujet deux théorèmes :

Théorème I. — Lemme. *Tout système optique possède un nombre déterminé de points réels ou imaginaires situés sur une droite déterminée et jouissant d'une propriété exprimable par une équation.*

En effet, le point étant arbitraire sur une droite est déterminé par sa distance à un point fixe. Nous pourrons toujours déterminer cette arbitraire de façon à satisfaire à l'équation de condition.

Théorème. — *Tout système centré de révolution possède des points réels ou imaginaires, situés sur son axe, pour lesquels l'aberration de courbure est du quatrième ordre par rapport à l'ouverture angulaire de la première surface* (*fig.* 1).

Fig. 1.



En effet, si l'on se donne un rayon par le point A où il coupe l'axe, et le point M où il perce la première surface, le point I_p, où le dernier réfracté correspondant au rayon AM coupe l'axe, est déterminé. Soit ω_1 l'angle compté autour d'un point C_1 et déterminant le point M. Soit $(\rho_p)_{\omega_1} = C_p I_p$, C_p étant un point fixe. $(\rho_p)_{\omega_1}$ est une fonction paire de ω_1, puisque I_p ne change pas, par symétrie, quand on change ω_1 en $-\omega_1$. Donc, en appelant $(\rho_p)_0$ la limite de $(\rho_p)_{\omega_1}$ pour $\omega_1 = 0$, on a

$$(1) \qquad (\rho_p)_{\omega_1} = (\rho_p)_0 + A_0 \omega_1^{2n} + B_0 \omega_1^{2n+2l} + \ldots$$

Digitized by Google

les indices o indiquant que les paramètres contenus dans AB, etc., se rapportent tous aux rayons centraux.

Le cas le plus défavorable est celui où $n = l = 1$. En prenant alors pour équation de condition $A_0 = 0$, le lemme démontre la proposition.

Corollaire. — L'équation $A_0 = 0$ s'obtiendra en dérivant $(\rho_p)_{\omega_1}$ par rapport à ω_1^2, car le développement (1) se confond avec le développement de Maclaurin où ω_1^2 est la variable.

Théorème II. — *Quand on se donne un point sur l'axe d'un système centré sphérique dont on ne limite pas la complication, on peut calculer les données de ce système de manière à rendre très petite l'aberration de sphéricité.*

En effet, s'il y a p sphères, j'aurai $2p - 1$ paramètres, les p rayons de courbure, et les $p - 1$ distances des p centres. Un rayon AM donne lieu à p réfractés successifs qui donnent les images $I_1, \ldots, I_q, \ldots, I_p$, qui sont toutes déterminées si l'on se donne le système centré et le rayon AM. Il y a, en effet, p équations de conjugaison, exprimant que les I sont les images de A. Ces p équations de conjugaison, si l'on se donne le point A, contiennent $2p - 1$ paramètres. S'il y en a $2p - 1 - q$ déterminés par les conditions de grossissement et d'achromatisme, il en restera q qu'on pourra déterminer pour l'aplanétisme. Soient ω_1, ω_1', ω_1'', ... q valeurs de ω_1, je pourrai prendre comme équations de conditions les q équations

$$(\rho_p)_0 = (\rho_p)_{\omega_1} = (\rho_p)_{\omega_1''} = \ldots,$$

qui impliquent que l'aberration est du quatrième ordre. D'ailleurs, pour les points ordinaires, la courbe des ρ_p en fonction de ω_1^2 a la forme de la *fig.* 2, pour les points déterminés par $A_0 = 0$, la forme de la *fig.* 3, dans le dernier cas, la forme de la *fig.* 4. S les points 1, 2, ..., q sont assez nombreux, on pourra resserrer autant qu'on le voudra la courbe (4).

Posé ainsi, le problème est insoluble, à cause de la complication de la fonction ρ_p.

Mais si nous supposons deux systèmes, l'un tel que (1), l'autre

Digitized by Google

tel que (2) (*fig.* 5). Si nous formons en C′ l'image C, la *fig.* 6

Fig. 2.

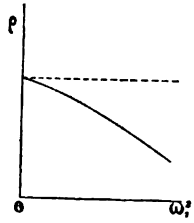
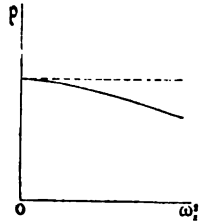
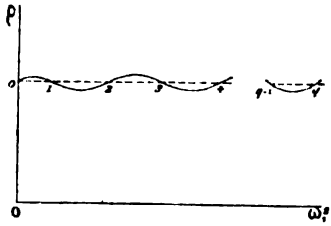


Fig. 3.



montre qu'il peut y avoir compensation des aberrations. La compensation sera au moins partielle. Si de plus les points C′ et C

Fig. 4.

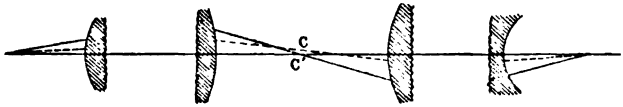


sont des points aplanétiques au quatrième ordre près, l'image totale sera plus aplanétique que si l'on employait un seul des deux

Fig. 5.

systèmes composants. De plus, en ces points, l'aberration change de signe : donc on pourra trouver par un tâtonnement facile, en

Fig. 6.



règlant la distance des deux systèmes composants, une position où la compensation sera très satisfaisante.

Digitized by Google

II. *Méthode générale de recherche des points aplanétiques au quatrième ordre près, dans les systèmes centrés sphériques.* — Nous prendrons comme origines des angles et des segments les centres des sphères. Le sens positif sera en sens inverse de la propagation de la lumière.

C_q, γ_q sont le centre et le rayon de courbure compté à partir du centre du $q^{\text{ième}}$ dioptre, v_q est la vitesse de la lumière dans ce dioptre; le système est défini par ces données et les segments $a_{q-1} = \overline{C_{q-1}C_q}$. Un point et ses images successives seront définis par

$$\rho_0 = \overline{C_1 A_0}, \qquad \rho_1 = \overline{C_1 I_1}, \qquad \ldots, \qquad \rho_p = \overline{C_p I_p}.$$

Pour un dioptre, il est aisé de voir que la formule générale de conjugaison, quels que soient l'objet et le dioptre, est

$$(1) \qquad \left\{ \begin{array}{l} \rho_1^2[(V_1^2 - V_0^2)\rho_0^2 + 2V_0^2\rho_0\cos\omega_1 - V_0^2\gamma_1^2] \\ \qquad\qquad - 2V_1^2\rho_0^2\rho_1\gamma_1\cos\omega_1 + V_1^2\rho_0^2\gamma_1^2 = 0. \end{array} \right.$$

si l'on prend pour $\cos\omega_1$ son module.

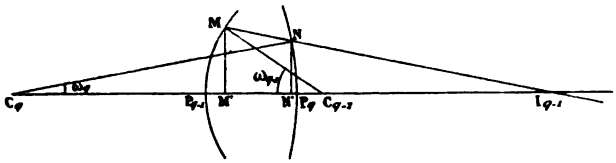
Nous aurons évidemment la relation relative au $q^{\text{ième}}$ dioptre en changeant ρ_0 en $C_q I_{q-1} = -a_{q-1} + \rho_{q-1}$, l'indice 1 en l'indice q et V_0 en V_{q-1}.

J'appelle $[q]$ l'équation ainsi obtenue.

Or il est évident que, lorsqu'on se donne le point A et l'angle ω_1, tous les ω successifs sont déterminés. Cherchons donc la formule qui relie deux ω consécutifs.

Soit MNI_{q-1} (*fig.* 7) un rayon dans le $(q-1)^{\text{ième}}$ dioptre, il

Fig. 7.



définit ω_q et ω_{q-1}. Nous avons

$$\frac{MM'}{NN'} = \frac{I_{q-1}M'}{I_{q-1}N'}.$$

Or

$$MM' = \gamma_{q-1}\sin\omega_{q-1}, \qquad NN' = \gamma_q \sin\omega_q,$$
$$I_{q-1}M' = -\rho_{q-1} + \gamma_{q-1}\cos\omega_{q-1}, \qquad I_{q-1}N' = -\rho_{q-1} + a_{q-1} + \gamma_q\cos\omega_q.$$

Digitized by Google

Donc

$$\frac{\gamma_{q-1}\sin\omega_{q-1}}{\gamma_q\sin\omega_q} = \frac{-\rho_{q-1}+\gamma_{q-1}\cos\omega_{q-1}}{-\rho_{q-1}+a_{q-1}+\gamma_q\cos\omega_q},$$

d'où

$$(2)\qquad \omega_q = \omega_{q-1}\left(\frac{-\rho_{q-1}+a_{q-1}+\gamma_q}{-\rho_{q-1}+\gamma_{q-1}}\right)\frac{\gamma_{q-1}}{\gamma_q}.$$

Formons maintenant l'équation $A_0 = 0$ de la première partie, par l'équation $[q]$ nous avons ρ_q, qui est une fonction implicite composée de ω_q et de ρ_{q-1}, fonctions de ω_1^2. Donc $A_0 = 0$ sera donnée par p équations

$$\left(\frac{d\rho_q}{d\omega_1^2}\right)_0 = \left(\frac{\partial\rho_p}{\partial\omega_p^2}\right)_0\left(\frac{d\omega_p^2}{d\omega_1^2}\right)_0 + \left(\frac{\partial\rho_p}{\partial\rho_{p-1}}\right)_0\left(\frac{d\rho_{p-1}}{d\omega_1^2}\right)_0,$$

dont la $p^{\text{ième}}$ aura zéro pour premier terme.

En exprimant chacune des dérivées partielles en fonction de ρ_q et de γ_q, on arrive à des expressions simples et homogènes. Introduisons les variables auxiliaires suivantes

$$y_{q-1} = \frac{\gamma_q}{\gamma_{q-1}},\qquad \frac{a_q}{\gamma_q} = x_q,\qquad \frac{\rho_q}{\gamma_q} = \alpha_q,$$

il vient, tous calculs faits,

$$\frac{\partial\rho_q}{\partial\omega_q^2} = \frac{\gamma_q(V_q - V_{q-1})(V_q + V_{q-1}\alpha_q)\alpha_q^2}{2V_q^2(1-\alpha_q)},$$

$$\frac{\partial\rho_q}{\partial\rho_{q-1}} = \frac{[V_q - (V_q - V_{q-1})\alpha_q)^2}{V_q V_{q-1}},$$

$$\frac{d\omega_q^2}{d\omega_1^2} = \frac{(1-\alpha_q)^2}{(1-\alpha_1)^2}\prod_2^q \frac{V_q^2}{2[V_q - (V_q - V_{q-1})\alpha_q]^2},$$

et l'équation de conjugaison relative aux rayons centraux devient, en choisissant convenablement le double signe,

$$\alpha_q = \frac{V_q(\alpha_{q-1} - x_{q-1})}{(V_q - V_{q-1})(\alpha_{q-1} - x_{q-1}) + V_{q-1}y_{q-1}}.$$

Si au lieu de prendre ainsi le problème on se donne le système centré, les équations précédentes permettront de connaître la valeur du coefficient A_0 en un point déterminé, c'est-à-dire la valeur principale de l'aberration de courbure en ce point.

III. *Application au cas de la lentille. Construction de l'objectif et de l'oculaire du microscope. Conclusions générales.*—

Digitized by Google

Quand on forme l'équation relative à la lentille crown-flint, qui permet de réaliser aussi l'achromatisme, on voit que, en appelant n_1 et n_2 les indices des deux verres, elle se compose de deux sortes de termes : 1° des termes qui, annulés, expriment que le point considéré est supposé aplanétique pour la lentille homogène; 2° des termes qui contiennent en facteur $n_2 - n_1$. Avec les verres actuels on peut choisir $n_2 - n_1$ assez petit pour négliger ces termes. Nous pouvons donc étudier seulement le cas de la lentille homogène.

Dans ce cas-là nous avons deux équations de conjugaison

$$-x + \alpha_1 = \frac{\alpha_2 y}{n - (n-1)\alpha_2}, \qquad \alpha_1 = \frac{\alpha}{n - (n-1)\alpha}$$

et une équation d'aplanétisme, qui peut s'écrire

$$y = \frac{\alpha_1^2 (1 + n\alpha_1)(1 - \alpha_1)[n - (n-1)\alpha_2]^4}{n(n + \alpha_2)(1 - \alpha_2)\alpha_2^2}.$$

Éliminons α_1, il nous reste les deux équations résolues

$$y = \frac{\alpha^2(n+\alpha)(1-\alpha)[n-(n-1)\alpha_2]^4}{\alpha_2^2(n+\alpha_2)(1-\alpha_2)[n-(n-1)\alpha]^4}, \quad x = \frac{\alpha}{n-(n-1)\alpha} - \frac{\alpha_2 y}{n-(n-1)\alpha},$$

qui représentent une surface, mise sous forme unicursale. Nous pourrons donc construire un abaque, dont les courbes correspondront chacune à une valeur déterminée de α, qui fixe le point lumineux. Dans tout ce qui suit, l'unité est le rayon de courbure du premier dioptre. Un point du plan détermine x et y. La lentille correspondante est donc déterminée, au signe du premier rayon de courbure, et à un coefficient de similitude près. Nous allons montrer qu'il n'y a qu'un seul signe admissible pour le premier rayon de courbure.

En effet, sur la *fig.* 8, l'épaisseur de la lentille est le segment P_1P_2, qui est essentiellement négatif. Or $P_1P_2 = -\gamma_1 + a + \gamma_2$: donc il faut que $-\gamma_1 + \gamma_2 + a < 0$. Divisons par γ_1, il vient deux groupes d'inégalités,

1° $\qquad \gamma_1 > 0, \qquad -1 + x + y < 0,$

2° $\qquad \gamma_1 < 0, \qquad -1 + x + y > 0.$

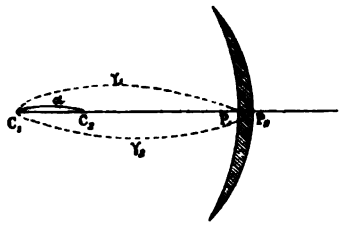
Donc au-dessus de la ligne $-1 + x + y = 0$, $\gamma_1 < 0$; au-dessous,

Digitized by Google

$\gamma_1 > 0$. Donc il n'y a qu'une lentille correspondant à un point déterminé du plan.

La ligne $-1 + x + y = 0$ est le lieu des lentilles de nulle épaisseur. Il est aisé de voir que l'épaisseur d'une lentille A (*fig.* 9) est le segment d'ordonnée MA compris entre cette ligne et le point A.

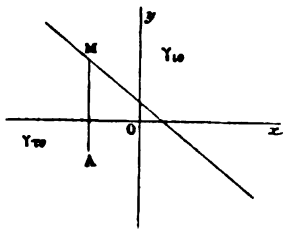
Fig. 8.



De nombreux résultats immédiatement vérifiables permettent d'ajouter foi aux calculs précédents et aux résultats suivants :

Les lentilles convergentes minces ont toutes deux points aplanétiques très voisins de leurs surfaces. Ils se comportent donc, au point de vue pratique, comme un point double sans changement de signe de l'aberration.

Fig. 9.



Les lentilles divergentes minces n'ont pas, en général, de points aplanétiques.

Il y a exception à ces règles pour les lentilles minces pour lesquelles $1,9 > y > \frac{1}{1,9}$. Si elles sont convergentes, elles ont quatre points aplanétiques; si elles sont divergentes, elles en ont deux. Les deux points aplanétiques surajoutés sont voisins l'un de l'autre, ils comprennent donc une région à aberration faible. Ces points donnent toujours des images virtuelles; les lentilles qui les possèdent sont des ménisques convergents ou divergents.

Digitized by Google

Ces points ont leurs analogues pour les lentilles épaisses voisines de cette région. Ils jouissent d'ailleurs, dans les lentilles épaisses, de propriétés analogues à celles qu'ils ont dans des lentilles minces.

On pourra employer avec avantage les lentilles convergentes de cette région comme lentilles frontales de microscope. Les plus avantageuses sont celles qui donneront le plus fort grossissement et qui resserreront le plus le faisceau réfracté. Il est aisé de voir que ce sont celles de la droite $x = -\frac{1}{n}$. Le point aplanétique, qui est virtuel, et où $\alpha = -n$ coïncide avec le point aplanétique absolu (1) du premier dioptre, et il est aisé de voir que le deuxième dioptre a ce point pour centre. Donc ce point est aplanétique absolu dans la lentille (2). L'usage de ces lentilles ne présente donc que des avantages.

Il y a d'autres lentilles à points absolus. Elles sont situées sur les neuf droites de l'abaque, et peuvent se ramener à six types irréductibles. Les seules pratiques sont celles qui viennent d'être étudiées, et qui doivent être préconisées pour la construction de l'objectif de microscope.

Maintenant que les principes de construction de l'objectif sont établis par l'étude précédente, cherchons ceux de la construction de l'oculaire.

Une condition physiologique donne évidemment le principe fondamental de cette construction, c'est la condition de moindre fatigue de l'œil observateur. Cette condition exige le relâchement total du muscle ciliaire, la désaccommodation complète. M. Guébhardt a établi (*Séances de la Société de Physique*, p. 122; année 1883) que, pour arriver à ce résultat, il fallait que le premier foyer de l'oculaire fût en avant du centre optique de l'œil, c'est-à-dire que le foyer total de l'instrument fût à moins de 12^{mm} en arrière du dernier dioptre. Pour réaliser l'ensemble de ces deux résultats, il faut que l'oculaire travaille à son foyer, et que sa distance focale soit courte. Il faut donc avant tout chercher sur l'abaque les lentilles à foyer aplanétique. Elles sont situées sur la courbe $\alpha = \infty$. Celle-ci présente une partie marquée d'un trait de force sur la

(1) *Voir* VERDET, t. IV, p. 874.

(2) M. Leroy a fait ouvrir un pli cacheté à ce sujet dans la séance du 1er février 1892 à l'Académie des Sciences.

Digitized by Google

région supérieure de l'abaque, et deux parties dans la région négative, trop loin pour trouver place sur la figure, mais dont la position peut se déduire approximativement des courbes cotées — 2, — 2,1, — 2,5, — 3, dont la cote tend vers ∞ assez rapidement. La partie supérieure doit être rejetée tant que les calculs d'achromatisme ne seront faits pour les lentilles épaisses que dans le cas de deux milieux accolés (*voir* plus loin). La partie inférieure de gauche donne des épaisseurs inadmissibles. Enfin la branche de droite m'a donné des résultats admissibles pour l'achromatisme avec des épaisseurs de quinze fois environ le rayon de courbure situé du côté de l'onde plane. Ceci conduit à des épaisseurs considérables, et qui ne sont admissibles que si l'oculaire est très puissant. Or c'est là une condition de bon fonctionnement, d'après ce qui précède. L'emploi des points absolus pour l'objectif permet d'ailleurs de former au foyer de l'oculaire une image à aberrations très petites. Celui-ci pourra donc être construit très puissant, de façon à réaliser à lui seul la plus grande partie du grossissement. Comme d'ailleurs on ne demandera plus à l'objectif une puissance considérable, on pourra le simplifier. L'oculaire ne comprendra qu'une seule lentille double, donc la construction de l'instrument sera très simplifiée.

L'étude précédente permet de montrer que toute construction faite avec des lentilles minces doit donner de moins bons résultats. En effet, l'étude de la fonction A_0 montre que pour $\alpha = \pm \infty$ elle ne change pas de signe. Donc les seuls points de changement de signe des aberrations sont les points donnés par l'abaque. Or on sait le signe de l'aberration focale des lentilles minces. On a donc tous les éléments nécessaires pour discuter la compensation des aberrations de deux lentilles minces. Une étude détaillée montre que cette compensation ne peut avoir lieu qu'aux dépens du grossissement et de la lumière, et que, par conséquent, la solution proposée est meilleure, pour construire un oculaire de microscope, que toute réunion de deux lentilles minces.

Donc, au point de vue de l'aplanétisme des oculaires, l'épaisseur, jusqu'ici négligée, joue le rôle capital, ce qui me semble justifier suffisamment les longs calculs nécessités par cette étude.

Digitized by Google

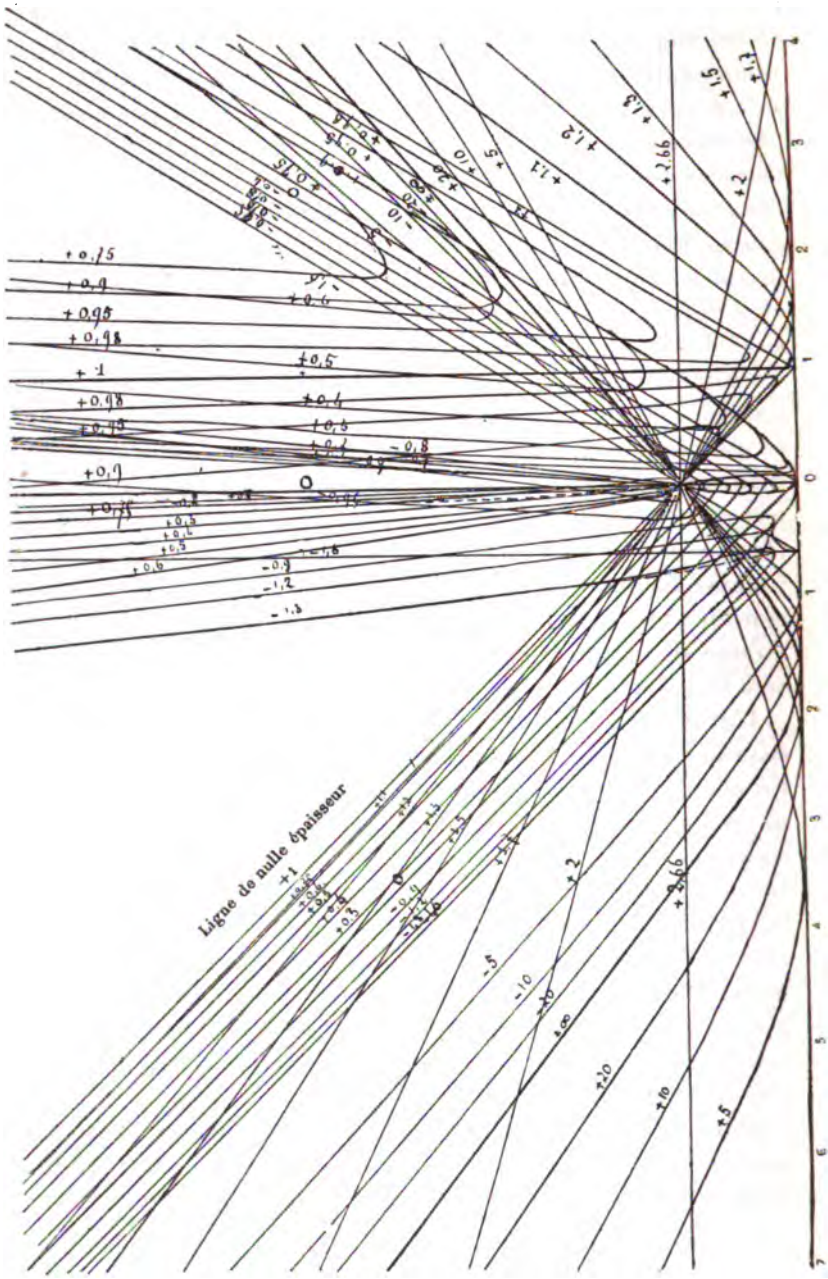
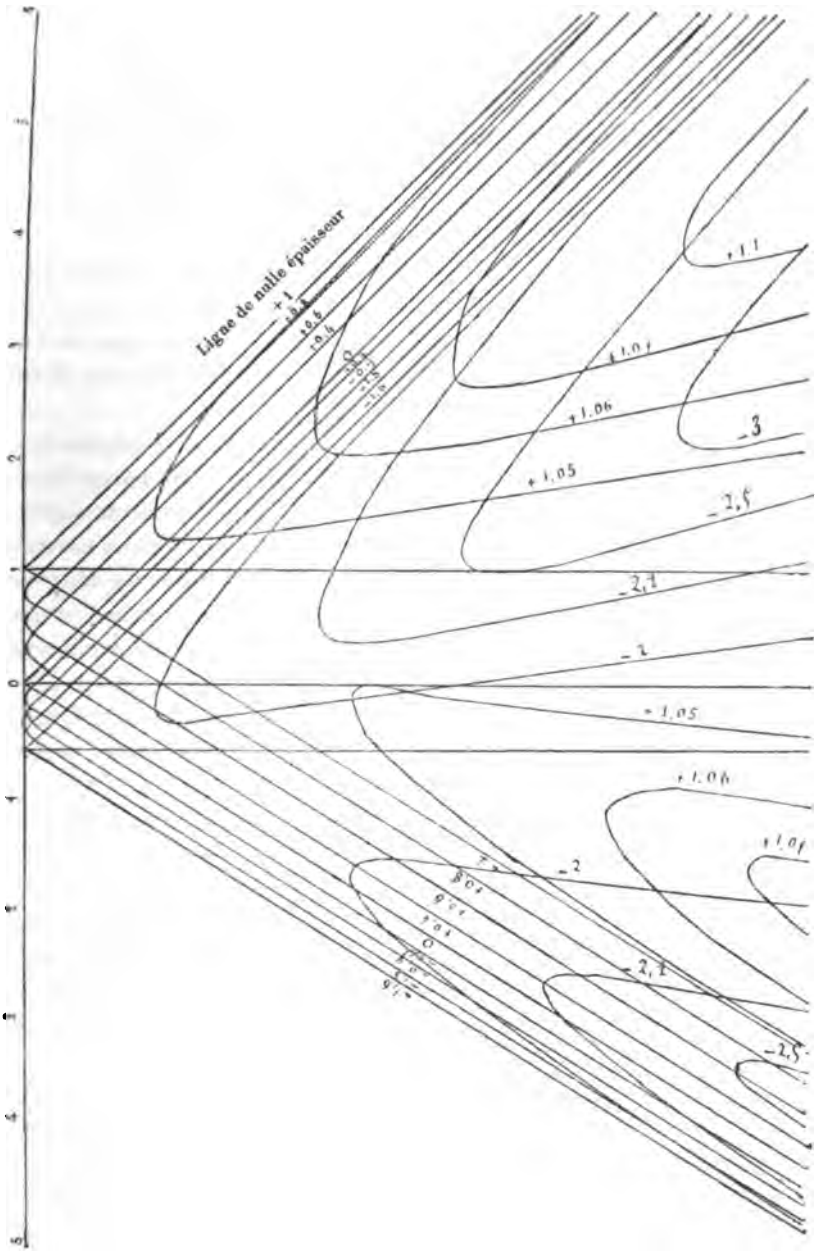


Fig. 10.

Digitized by Google

Fig. 11.



Digitized by Google

Achromatisme.

L'étude précédente de l'aplanétisme conduit, pour les oculaires, à des épaisseurs considérables, qui nécessitent de nouveaux calculs d'achromatisme. Je vais étudier le seul cas que j'aie pu traiter jusqu'ici, celui de la lentille composée d'un crown et d'un flint accolés.

Comme j'ai montré la possibilité d'employer des objectifs peu puissants et par conséquent minces, ce qui permet de les achromatiser par les anciennes formules, je ne m'occuperai que de l'achromatisme des oculaires, c'est-à-dire de l'achromatisme focal (*voir* plus haut).

La lentille complexe contient quatre paramètres, l'aplanétisme exige une condition, j'ai donc à ma disposition trois paramètres. Je peux donc satisfaire à trois équations, par exemple la superposition des foyers jaune et bleu et des plans principaux correspondants, d'un côté de la lentille et la superposition de deux de ces éléments de même nom de l'autre côté, ce qui donnera l'achromatisme parfait. Mais ceci est incompatible avec l'aplanétisme focal (*voir* plus loin). Je ne réaliserai donc que les deux premières conditions, par conséquent, les plans principaux et focaux ne seront superposés que d'un côté : les distances focales seront seulement égales de l'autre côté.

Mais si un objet lumineux est placé au foyer achromatique d'un pareil système, les faisceaux jaune et bleu sortiront, non superposés, mais parallèles. Un œil observateur les fera donc converger en un même point de sa rétine, si nous le supposons achromatique et désaccommodé, ce que nous devons faire. Cette approximation sera d'autant meilleure que l'ouverture angulaire employée sur l'œil observateur sera plus faible; les conditions produites par l'emploi des oculaires puissants seront donc très favorables.

Pour résoudre cette question, je pars des formules connues qui donnent les abscisses des éléments cardinaux d'un système centré composé de deux autres, par rapport au deuxième plan principal du deuxième système. La seule précaution à prendre est de changer le signe des rayons de courbure pour garder les mêmes notations que dans la théorie de l'aplanétisme. Ces abscisses sont des fonc-

Digitized by Google

tions des indices, et ceux-ci, d'après tous les auteurs qui ont écrit sur la dispersion, sont de la forme $n = l + m\mu + p\mu^2$, ou $\mu = \frac{\varepsilon}{\lambda^2}$, λ étant la longueur d'onde, μ est une quantité très petite. En annulant $\frac{dA}{d\mu}$ (A est l'abscisse d'un élément cardinal), on écrit que l'abscisse A, considérée comme fonction de μ, présente un maximum ou un minimum pour la valeur de μ qui détermine les n mis dans l'équation $\frac{dA}{d\mu} = 0$. Supposons que cette valeur de μ corresponde à un certain vert, nous aurons la courbe *fig.* 10 qui montre que la dispersion totale des éléments cardinaux est très faible et qu'elle est nulle pour le jaune et le bleu, si le vert a été bien choisi.

Pratiquement, quelle que soit la valeur de μ, si elle est moyenne, une légère retouche suffira pour corriger l'erreur résiduelle.

Appliquons ceci aux formules connues (¹). Si Φ_2 est la distance focale du système et Ψ_2 l'abscisse de son plan principal par rapport au pôle du troisième dioptre, si de plus $n_1 = l_1 + m_1\mu + p_1\mu^2$, $n_2 = l_2 + m_2\mu + p_2\mu^2$, les équations d'achromatisme d'un côté seront

$$m_1 \frac{d\Phi_2}{dn_1} + m_2 \frac{d\Phi_2}{dn_2} = 0. \tag{1}$$

$$m_1 \frac{d\Psi_2}{dn_1} + m_2 \frac{d\Psi_2}{dn_2} = 0. \tag{2}$$

(¹) Appelons n_1, n_2 les indices, γ_1, γ_2, γ_3 les rayons de courbure des trois dioptres, e_1, e_2 les épaisseurs des deux lentilles (quantités essentiellement négatives), φ''_1, φ'_1; φ''_2, φ'_2; φ''_3, φ'_3 les distances focales des trois dioptres, Φ_1, Ψ_1 la distance focale du premier système de deux dioptres et l'abscisse de son plan principal par rapport au pôle du deuxième dioptre, Φ_2 la distance focale du système total, Ψ_2 l'abscisse de son plan principal par rapport au pôle du troisième dioptre, les formules qui relient ces quantités sont

$$\varphi''_1 = \frac{-n_1\gamma_1}{n_1 - 1}, \qquad \varphi''_2 = \frac{-n_2\gamma_2}{n_2 - n_1}, \qquad \varphi''_3 = \frac{\gamma_3}{n_2 - 1},$$

$$\varphi'_1 = \frac{\gamma_1}{n_1 - 1}, \qquad \varphi'_2 = \frac{n_1\gamma_2}{n_2 - n_1}, \qquad \varphi'_3 = \frac{-n_2\gamma_3}{n_2 - 1},$$

en posant $\tau_1 = -\Psi_1 + e_2$

$$\Phi_1 = \frac{\varphi''_2\varphi''_3}{\varphi''_2 - e_1 - \varphi'_2}, \qquad \Phi_2 = \frac{\Gamma_1\varphi''_3}{\Gamma_1 - \tau_1 - \varphi'_3},$$

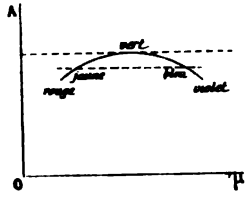
$$\Psi_1 = -\frac{\varphi''_2 e_1}{\varphi''_2 - e_1 - \varphi'_2}, \qquad \Psi_2 = -\frac{\varphi''_3\tau_1}{\Gamma_1 - \tau_1 - \varphi'_3}$$

Digitized by Google

Ces dérivées se calculent facilement de proche en proche.

Les équations développées obtenues en combinant convenablement (1) et (2) contiennent n_1, n_2, m_1, m_2. Or on a actuellement

Fig. 12.



des verres dont les indices moyens sont très voisins et les dispersions très différentes. Donc nous aurons une équation aux valeurs principales, qui sera souvent suffisante dans la pratique, en introduisant l'hypothèse $n_1 = n_2$. Les équations se simplifient beaucoup et deviennent

$$(3) \qquad m_1\gamma_3 e_1 - m_2 e_2[(n_1-1)(\gamma_3 - e_1 - e_2) - n_1\gamma_1] = 0,$$

$$(4) \qquad m_1\gamma_2(e_1+e_2) + (m_2 - m_1)e_2[n\gamma_1 + (n-1)(e_1 - \gamma_2)] = 0.$$

Si nous nous donnons $\frac{\gamma_3}{\gamma_1}$ et $\frac{e_1+e_2}{\gamma_1}$, la première équation est linéaire en $\frac{e_1}{e_2}$ et la deuxième en γ_2. La solution est donc de la plus grande simplicité. Discutons maintenant la solution. Posons comme dans la discussion de l'aplanétisme

$$\frac{\gamma_3}{\gamma_1} = y, \qquad \frac{e_1+e_2}{\gamma_1} = -1 + x + y,$$

l'équation (3) devient

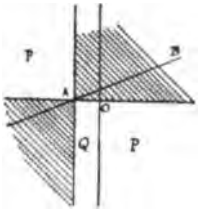
$$\frac{e_1}{e_2} = -\frac{m_2}{m_1}\,\frac{1+(n-1)x}{y};$$

$\frac{e_1}{e_2}$ est essentiellement positif, donc il n'y aura de solution admissible que dans la région du plan où y et $[1+(n-1)x]$ seront de signes contraires. Il n'y aura de solution que dans les régions non hachées de la *fig.* 13. Les régions hachées ne sont pas achromatisables.

Digitized by Google

Si nous renversions le sens de la lumière, il faudrait, pour avoir la relation, faire le changement, $(\gamma_1, -\gamma_3)$, (e_1, e_2), $(\gamma_2, -\gamma_2)$,

Fig. 13.



(m_1, m_2) et inversement, ce qui donnerait

$$\frac{e_1}{e_2} = -\frac{m_2}{m_1}\,\frac{1}{y-(n-1)x}.$$

Pour la compatibilité avec la relation (5) il faut que

$$\frac{1+(n-1}{y} = \frac{1}{y-(n-1)x},$$

courbe qui se décompose en l'axe des y et la droite AB

$$y = (n-1)x + 1.$$

La seule partie de ce système de droites qui soit dans la région achromatisable est la partie négative de l'axe des y. Donc cette droite sera le lieu des lentilles telles que, si on les achromatise d'un côté, elles le sont par le fait même de l'autre. Ce sont les lentilles biconvexes à surfaces homocentriques. Cette droite ne coupe pas la courbe d'aplanétisme focal. Nous ne réaliserons donc pour les points de cette courbe que l'achromatisme d'un seul côté.

Un de ces points détermine $\frac{\gamma_2}{\gamma_1}$ et $\frac{e_1+e_2}{\gamma_1}$; nous pourrons donc résoudre commodément (3) et (4).

L'application de ces formules montre que, pour la région supérieure de la courbe d'aplanétisme focal, la surface de séparation crown-flint serait extrêmement petite. Cela présenterait donc de grandes difficultés de construction, et ne permettrait d'admettre qu'un pinceau lumineux. Il en est de même des points de la même courbe située près de son asymptote à 45°. Mais pour les points situés sur la branche parabolique de la même courbe après

Digitized by Google

le maximum, les solutions deviennent parfaitement admissibles, à partir du moment où $e = -15$ environ. Le troisième rayon de courbure est environ 60 fois plus grand que le premier, dans cette région.

Cette théorie de l'achromatisme, tout imparfaite qu'elle soit, nous permet donc d'employer les points aplanétiques des lentilles dans la construction du microscope. Peut-être des calculs plus complets permettront-ils un jour d'aborder la théorie des objectifs épais, qui présenteraient un sérieux avantage en admettant plus de lumière; mais je crois que, pour la construction de l'oculaire, il sera toujours inutile de la compliquer en allant plus loin que je ne viens de le faire : l'achromatisation d'un seul côté suffira toujours pour l'oculaire d'un instrument convenablement construit.

SÉANCE DU 18 FÉVRIER 1892.

PRÉSIDENCE DE M. JOUBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

M. le PRÉSIDENT présente aux Membres des deux Sociétés [1] l'ingénieur américain M. TESLA, qui a bien voulu venir en France pour nous montrer ses belles expériences sur les effets produits par les alternateurs de grande fréquence.

M. TESLA explique très brièvement qu'il a réalisé un alternateur donnant de 10000 à 20000 alternances par seconde. Le courant de cet alternateur passe dans le circuit primaire d'une petite bobine d'induction parfaitement isolée et plongeant dans l'huile. Les bornes du circuit secondaire permettent alors de recueillir l'électricité sous de fortes tensions, avec de très rapides alternances. Nous désignerons cette bobine par la lettre A dans la description des expériences.

Une deuxième disposition, entièrement différente, utilise les oscillations électriques des condensateurs. Le courant d'une machine alternative ordinaire de 60 à 100 alternances par seconde passe par le fil primaire d'une première bobine d'induction. Le courant secondaire de cette bobine passe sous forme d'étincelle entre les deux boules métalliques d'un excitateur. Des condensateurs sont en connexion avec les deux boules de l'excitateur

---

[1] Séance commune à la Société française de Physique et à la Société internationale des Électriciens.

Digitized by Google

et des oscillations électriques se produisent pendant chaque décharge. Les courants oscillatoires traversent à leur tour le circuit primaire d'une deuxième bobine d'induction, sans fer et parfaitement isolée dans l'huile. Le nombre des alternances peut s'élever jusqu'à 400000 par seconde et la différence de potentiel aux bornes du fil induit de cette deuxième bobine (que nous appellerons bobine B) peut atteindre dans certains cas $\frac{1}{2}$ million de volts.

M. Tesla passe ensuite à la réalisation d'une série d'expériences très brillantes. Il se sert tout d'abord de la bobine A.

1° Un tube de verre, de 1^m de long, fermé et dans lequel on a fait le vide ne possède aucune électrode. M. Tesla tient ce tube à pleine main de la main droite; de la main gauche il se met en communication avec l'une des bornes du fil induit de la bobine. Dans ces conditions le tube s'illumine dans toute sa longueur.

Le courant alternatif, qui traverse le corps de l'opérateur, produit seulement une sensation qui n'est pas très intense dans le bras gauche, malgré la tension énorme de la bobine.

2° Un globe de verre, dans lequel on a fait le vide, contient une seule électrode formée d'un gros bouton métallique. Cette électrode est mise en communication avec un des pôles de la bobine par un fil de cuivre recouvert de gutta. Le bouton métallique s'illumine dans l'intérieur du globe. En approchant la main de l'extérieur du globe, on provoque des phénomènes de condensation et l'éclat du phénomène augmente fortement.

3° Dans une expérience analogue à la précédente, on excite la phosphorescence de tout le globe de verre comme dans les expériences de Crookes; mais il y a seulement ici une seule électrode. On répète également en utilisant des phénomènes d'influence l'expérience de l'ombre de Crookes.

Dans toutes les expériences qui suivent M. Tesla se sert de la bobine B.

4° On provoque la décharge dans l'air entre deux disques reliés aux deux bornes du fil induit de la bobine, en interposant ensuite une plaque d'ébonite entre les deux disques; la décharge, au lieu d'être interceptée, semble augmentée et on a l'apparence d'un flux intense traversant la plaque bien que celle-ci ne soit nullement perforée.

5° On imite avec la bobine les étincelles de décharge d'une machine électrostatique. Entre deux grosses boules de $0^m,10$ de diamètre on a simplement des étincelles. Entre deux boules de $0^m,03$ de diamètre on a des étincelles, mais on voit déjà autour du métal les aigrettes et des lueurs comme il s'en échappe d'une pointe ou d'une arête avec une machine statique.

6° On provoque la décharge entre deux fils de 4^m de long qui s'illuminent sur toute leur longueur.

7° On provoque la décharge entre deux fils plus courts et ensuite entre deux cercles concentriques. On a ainsi de véritables nappes lumineuses dont la surface peut dans de bonnes conditions atteindre plus d'un mètre carré.

Digitized by Google

8° En entourant l une des bornes du fil induit de la bobine d'un court tube d'ébonite ouvert, il s'échappe une aigrette qui rappelle une flamme et qui peut lui être comparée.

9° M. Tesla met ses deux mains respectivement en communication avec les deux pôles de la bobine. Il peut ainsi supporter le courant de décharge bien que le potentiel aux bornes ait été environ de 70000 volts. Avec un nombre d'alternances moindre l'effet eût été foudroyant. Il est nécessaire dans cette expérience de toucher les bornes à l'aide de pièces métalliques tenues à la main pour éviter les brûlures de l'étincelle.

10° Un fil très fin, à peine visible, de $0^m,10$ de long attaché à un des pôles devient lumineux et s'agite d'une façon continue.

11° Expérience du radiomètre électrique de Crookes; l'expérience est réalisée avec une seule électrode.

12° M. Tesla montre ensuite divers effets de condensation. Une seule électrode d'un tube de Geissler communique avec une des bornes de la bobine, le tube s'illumine et la partie la plus proche de la bobine est la plus lumineuse.

On relie ensuite la seconde électrode à une simple plaque métallique isolée qui joue le rôle de condensateur; dans ces conditions le tube s'éclaire uniformément et d'une façon beaucoup plus brillante.

13° La même expérience est répétée avec un globe contenant deux boutons de charbon formant électrodes.

14° A une des bornes de la bobine est attaché un fil isolé dans une gaine en plomb également isolée; on allume une lampe à un seul bouton en faisant communiquer ce bouton soit avec le fil, soit avec la gaine de plomb.

15° M. Tesla présente un petit moteur à courants alternatifs qui peut marcher en utilisant des phénomènes d'influence sous hautes tensions.

16° M. Tesla a cherché les meilleures conditions de fonctionnement de ses lampes ou globes à un seul bouton et a fait dans ce but des expériences très variées.

Le bombardement du bouton par les molécules d'air restant dans l'ampoule est, suivant lui, la cause déterminante des effets lumineux. Il montre successivement diverses lampes où le bouton métallique, au lieu d'être nu, est recouvert de diverses substances non conductrices. La lueur du bouton dépend alors de la nature de la substance. L'alumine, la chaux donnent de fort beaux effets. Une variété de charbon artificiel, le *carburendum*, semble devoir donner les meilleurs résultats. Cette matière peut être portée à un haut degré d'incandescence et donner ainsi un bon rendement lumineux.

17° On compare les effets produits par des globes de divers diamètres : les globes les plus gros donnent les effets les plus brillants.

18° Une lampe possède deux globes concentriques, on fait le vide dans les deux; le vide peut être très parfait dans le globe intérieur. Le deuxième globe permet d'avoir une grande capacité électrique.

19° Lorsque trois lampes à un seul bouton se succèdent attachées à un

Digitized by Google

même fil, celle du milieu est toujours moins brillante que les autres parce qu'elle se trouve protégée au point de vue des effets de condensation.

20° En ajoutant à une lampe à un seul bouton un réflecteur métallique, on augmente considérablement l'incandescence de la lampe.

21° Le bouton électrode est remplacé par un petit écran plat; on a alors un pinceau lumineux faisant tache phosphorescente sur le verre. On peut déplacer la position des points phosphorescents par des effets d'influence.

22° M. Tesla montre l'action des tensions de sa bobine sur des tubes de Crookes renfermant des matières phosphorescentes.

Des tubes contenant du sulfure de calcium, de l'yttria, des rubis, du sulfure dezinc donnent d'admirables effets de lumière colorée et brillante.

23° Un tube de verre dans lequel on a fait le vide est enduit d'une très mince couche métallique, une bague métallique extérieure placée au centre communique avec une des bornes de la bobine. Contre toute attente le tube est illuminé sous le métal.

24° M. Tesla termine la série de ses expériences en montrant les effets d'une sorte de plafond métallique formé d'une plaque isolée mise en communication avec une des bornes de la bobine. En plaçant sous ce plafond des tubes à vide ceux-ci s'illuminent. D'où le principe d'un nouveau mode d'éclairage.

Durant le cours de ces expériences M. Tesla s'est livré à diverses considérations d'un grand intérêt :

Il a d'abord donné quelques détails sur la bobine d'induction B qui sert dans ses expériences. Pour obtenir d'aussi puissants effets, une petite bobine est seulement nécessaire lorsque l'on a un courant primaire de très grande fréquence et cependant la tension que l'on peut atteindre est limitée non par la puissance de la bobine, mais bien par les difficultés de l'isolement.

Pour obtenir un bon isolement, il faut avant tout éviter la présence des gaz et c'est pour cela que la bobine est placée dans l'huile. Les molécules gazeuses sous l'effet des tensions alternatives entrent en mouvement rapide; elles portent à l'incandescence les objets qu'elles frappent et provoquent ainsi la déperdition ou la rupture.

M. Tesla revient constamment à cette idée du bombardement par les molécules gazeuses; c'est là que se trouve suivant lui la clef de tous ces phénomènes. Devant les tensions alternatives élevées, les capacités électriques des corps sont augmentées par l'effet du bombardement dans une proportion qu'il est impossible de calculer. Ce phénomène intervient peut-être dans la valeur de la capacité de l'excitateur de Hertz.

Le rôle des capacités est parfois très complexe dans les expériences de M. Tesla. Les phénomènes de résonance peuvent en effet intervenir dans des phénomènes où entrent en jeu les oscillations électriques.

M. Tesla rend hommage aux travaux de Crookes qui lui ont été fort utiles; il pense que les travaux sur la phosphorescence de Becquerel en

Digitized by Google

France et de Crookes en Angleterre prennent en vieillissant une importance plus grande au lieu de tomber dans l'oubli.

Comment transmettre économiquement les tensions alternatives énormes utilisées dans ces expériences? On peut tout d'abord rapprocher autant que possible la bobine du lieu d'utilisation, mais, même pour une courte transmission, un fil traversant une salle perdrait déjà les $\frac{9}{10}$ de l'énergie qu'il transmet. La question est encore à l'étude. Le meilleur système serait peut-être un fil isolé dans une gaine de plomb en ménageant des divisions dans la couverture métallique

Quelle sera la lumière de l'avenir? Utilisera-t-on les corps solides ou les gaz incandescents? L'incandescence sera-t-elle due à des phénomènes chimiques ou électriques? Le rendement des sources de lumière actuelle est déplorable, des perfectionnements dans la nature de ces sources peuvent apporter des économies énormes. M. Tesla pense que l'on trouvera la solution dans l'emploi des courants électriques alternatifs de très grandes fréquences et de très hauts potentiels.

M. le Président remercie M. Tesla et lui souhaite de continuer avec le même succès le cours de ses belles recherches.

Expériences avec les courants alternatifs de grande fréquence et de haute tension (1);

PAR M. NIKOLA TESLA.

Messieurs, il y a déjà quelque temps que j'ai eu l'honneur d'apporter à l'Institut américain des Ingénieurs électriciens les résultats auxquels j'étais arrivé dans une direction nouvelle. Je ne m'étendrai pas sur les expériences déjà décrites, sauf pour compléter ou exprimer plus clairement quelques idées que j'ai avancées auparavant, et aussi dans le but de faire un tout homogène de l'exposé de mes travaux sur ce sujet.

Mes recherches, vous le savez, portent sur les courants alternatifs, et plus spécialement sur ceux de haute tension et de grande fréquence. Jusqu'à quel point la grande fréquence est-elle essen-

(1) Nous avons cru pouvoir résumer sur quelques points le texte de M. Tesla, et supprimer la description de quelques expériences qui n'avaient pas été répétées devant la Société et ne présentaient pas un intérêt capital.

Digitized by Google

tielle pour la production des effets que je vous présente? C'est une question à laquelle il me serait difficile de répondre pour le moment. Quelques expériences réussissent avec de faibles fréquences; mais les hautes fréquences sont désirables, non seulement à cause des effets spéciaux qu'elles produisent, mais aussi parce que c'est le moyen le plus commode d'obtenir les hautes tensions qui sont, à leur tour, nécessaires pour la réussite de la plupart des expériences que nous avons en vue.

De toutes les branches des recherches électriques, la plus intéressante peut-être, et la plus féconde en résultats immédiats, est celle qui a pour but l'étude du courant alternatif. Les progrès, dans cette branche, des applications de la Science ont été assez grands dans ces dernières années pour justifier les espérances les plus grandes.

A peine sommes-nous familiers avec un fait, que de nouvelles expériences viennent ouvrir de nouvelles voies aux recherches. Même en ce moment, des choses à la possibilité desquelles on ne songeait même pas sont devenues réalisables, grâce à ces courants. Dans la nature, tout est flux et reflux, tout est mouvement harmonique; aussi semble-t-il que, dans toutes les branches de l'industrie, c'est le courant alternatif (le mouvement harmonique de l'électricité) qui devra avoir la supériorité.

Une raison, peut-être, du développement rapide de cette branche de la Science est l'intérêt qui s'attache à son étude expérimentale. Nous enroulons un simple anneau de fer avec du fil; nous établissons la liaison avec une machine et nous remarquons, avec surprise, les merveilleux effets de forces étranges que nous mettons en jeu, et qui nous permettent de transformer, de conduire, de diriger l'énergie à notre volonté. Nous arrangeons les circuits d'une manière convenable, et nous voyons ces masses de fer et de cuivre devenir comme vivantes, faire tourner une lourde armature, avec une grande puissance et sans aucune liaison apparente; et, si l'on veut, l'énergie venant d'une grande distance. Nous observons les manifestations du courant alternatif qui traverse le fil (et qui se produisent non pas tant sur le fil lui-même que dans l'espace environnant), et cela sous les formes les plus variées, de chaleur, de lumière, de puissance mécanique, et, la plus surprenante de toutes, sous la forme d'affinité chimique.

Digitized by Google

Toutes ces observations nous fascinent et nous remplissent du désir de mieux connaître la nature de ces phénomènes. Chaque jour nous amène l'espérance d'une nouvelle découverte, et chaque jour renouvelle l'ardeur avec laquelle nous retournons à notre tâche et à notre travail qui contribue, nous en avons conscience, au profit de l'espèce humaine.

Nous pouvons prendre, au hasard, une quelconque de nos expériences que nous avons préparées; toutes sont également intéressantes et fécondes en déductions.

Voici un simple tube de verre où l'on a fait un vide partiel. Je le prends à la main et je mets mon corps en contact avec une source de haut potentiel : le tube s'illumine brillamment dans ma main. Dans quelque position que je le mette, et aussi loin que je peux atteindre, sa lumière, douce et agréable, persiste avec le même éclat.

Voici une ampoule également vide, pendue à un fil unique. Me tenant sur un support isolant, je la saisis à la main, et un bouton de platine qui y est renfermé est porté à une vive incandescence.

Voici une autre ampoule, attachée à un fil, qui, lorsque je touche son attache métallique, se remplit d'une magnifique lueur phosphorescente.

En voici une autre, sur laquelle le contact de mes doigts détermine une ombre, l'ombre de Crookes.

Isolé sur une plate-forme, je mets mon corps en contact avec l'un des bouts du long fil secondaire d'une bobine d'induction; et vous voyez des rayons de lumière s'élancer à l'autre bout, qui est mis en vibration violente.

Enfin, voici deux plaques de toile métallique que j'attache aux deux pôles de la bobine. Vous voyez une petite étincelle passer de l'une à l'autre. J'interpose une plaque épaisse d'un excellent diélectrique; et voici qu'au lieu d'intercepter l'étincelle, comme on pourrait le croire, j'aide à son passage, et elle prend l'aspect d'un courant de lumière.

Peut-il y avoir, je vous le demande, un sujet d'études plus intéressant que le courant alternatif?

Dans toutes ces recherches, nous avons eu un compagnon d'étude dont l'aspect est familier à tous, et qui, après avoir été un jouet autrefois, est devenu une chose de la plus grande importance

Digitized by Google

aujourd'hui, je veux dire : *la bobine d'induction.* Son étude expérimentale est, pour tous, du plus habile physicien au plus inexpérimenté des étudiants, une chose des plus charmantes. Mais ces phénomènes sont si connus et l'appareil si familier, que le courage me manque presque en pensant que ce n'est pas d'autre chose que je me propose de vous entretenir. Voici, en effet, le même appareil; voici les mêmes expériences; mais l'appareil est un peu différent, et les phénomènes sont présentés sous un aspect quelque peu différent aussi.

Quelques effets sont obtenus conformément aux prévisions; d'autres nous surprennent; mais tous nous intéressent, car chaque fait nouveau peut être un point de départ, chaque nouveau résultat peut conduire à d'importants développements.

En général, en employant la bobine d'induction, on établit un régime de vibration lente dans le primaire, soit à l'aide d'un interrupteur, soit en employant un alternateur. Notre expérience et nos connaissances d'aujourd'hui nous permettent de discerner clairement pourquoi ces conditions d'expérience ne sont pas favorables à la découverte de nouveaux phénomènes, et ont empêché d'habiles expérimentateurs d'observer les curieux effets qui ont été obtenus depuis.

Dans les expériences de ce soir, nous actionnons la bobine soit à l'aide d'un alternateur de construction spéciale, capable de donner plusieurs milliers de renversements par seconde; soit par la décharge disruptive d'un condensateur à travers le primaire, ce qui établit un régime de vibrations d'une fréquence de quelques centaines de mille ou millions de périodes par seconde. Dans les deux cas, nous entrons ainsi dans un champ inexploré.

Dans toute investigation de ce genre, on aboutit finalement à des observations intéressantes et à des faits importants. Comme exemple, examinons les phénomènes les plus simples, tels que ceux des décharges des bobines d'induction.

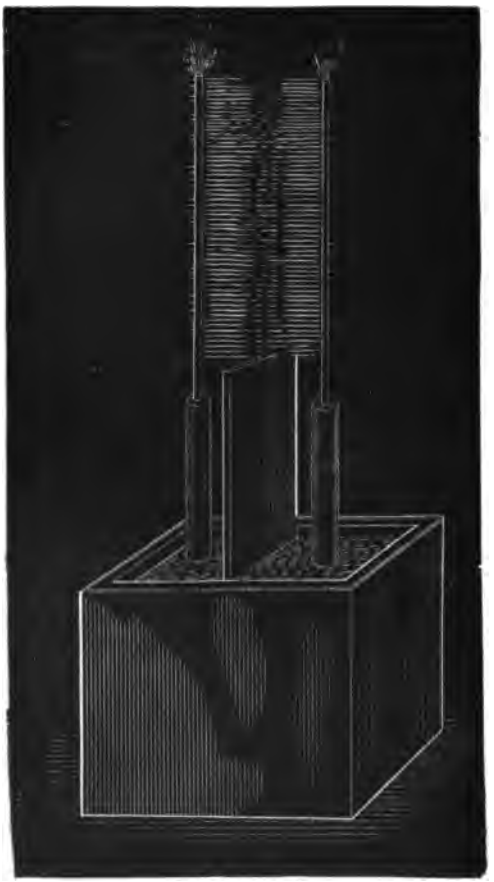
Voici, par exemple, une bobine actionnée par des courants vibrant avec une extrême rapidité, obtenus par la décharge disruptive d'une bouteille de Leyde. Le secondaire de cette bobine comprend un petit nombre de tours de fil relativement gros, et, malgré cela, elle est capable de produire une différence de potentiels qui n'est limitée que par la résistance de son isolation. Rien d'étonnant

Digitized by Google

à cela, après réflexion; mais la surprise et l'intérêt prennent naissance à l'aspect de la décharge.

La décharge d'une bobine ordinaire a la forme bien connue d'une simple bande ou ligne lumineuse. Mais ici, grâce à la fréquence de quelques centaines de mille périodes par seconde, voici que la décharge prend l'aspect de rayons lumineux divergents, s'élançant de tous les points de deux fils droits reliés au secondaire (*fig.* 1).

Fig. 1.



Comparez maintenant cette décharge avec celles que vous avez obtenues des machines de Holtz ou de Wimshurst (ces autres ap-

Digitized by Google

pareils si précieux pour l'expérimentateur), et voyez quelle ressemblance entre ces phénomènes! Elle aurait pu être plus complète encore et échapper à l'observateur le plus exercé, si la source en avait été cachée aux yeux. Il aurait alors été difficile, sinon impossible, de dire si c'était une machine à influence, ou à friction, ou la bobine d'induction qui était en jeu.

Ce résultat peut être obtenu de bien des manières : par exemple, en actionnant la bobine d'induction qui charge le condensateur à l'aide du courant d'un alternateur de très basse fréquence, et en ajustant le circuit de préférence de manière à y éviter les oscillations. On obtient ainsi dans le secondaire, si les boules de l'excitateur sont convenablement agencées et de dimensions convenables, une succession plus ou moins rapide d'étincelles, qui donnent le même éclat et sont accompagnées du même bruit sec que les étincelles des machines à influence ou à friction.

Un autre moyen est de lancer à travers deux circuits primaires, ayant un secondaire commun, deux courants de périodes légèrement différentes, qui donnent dans le secondaire des étincelles qui ne se succèdent qu'à d'assez longs intervalles.

Mais, même avec les moyens que j'ai ici sous la main, je puis réussir à imiter l'étincelle d'une machine de Holtz. A cet effet, j'établis entre les bornes du circuit de la bobine qui charge le condensateur un arc long et peu stable. Le courant d'air auquel il donne lieu l'éteint périodiquement; et j'accrois encore ce courant d'air en disposant de chaque côté de l'arc une grande plaque de mica. Le condensateur ainsi chargé se décharge dans le circuit primaire d'une seconde bobine en franchissant un court intervalle d'air, condition nécessaire pour produire une soudaine variation du courant dans le primaire. Le schéma de cette disposition est représenté *fig.* 2.

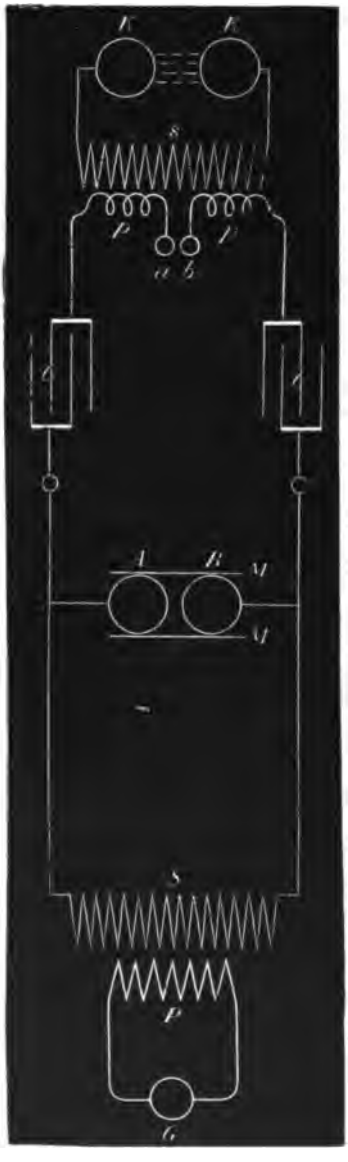
G est un alternateur ordinaire alimentant le primaire P d'une bobine d'induction. Le secondaire S charge les jarres C, C, dont les armatures extérieures sont reliées au primaire *pp* de la seconde bobine d'induction. L'intervalle d'air *ab*, dans ce circuit, est petit.

Le secondaire *s* est pourvu de boutons ou sphères K, K, de dimensions convenables, et placées à la distance qui convient pour l'expérience.

Digitized by Google

Un arc long est établi entre A et B, et M, M sont les feuilles de mica.

Fig. 2.



A chaque rupture de l'arc entre A et B, les jarres sont rapide-

Digitized by Google

ment chargées et déchargées à travers le primaire *pp*, et produisent une étincelle claquante entre les boules K, K. Pendant que l'arc persiste entre A et B, le potentiel s'abaisse, et les jarres ne peuvent atteindre un potentiel assez élevé pour que le courant franchisse l'intervalle *ab* que lorsque l'arc est de nouveau rompu par le courant d'air.

De cette façon, des impulsions soudaines, produites à de longs intervalles dans le primaire *pp*, donnent naissance dans le secondaire *s*, à un nombre correspondant d'impulsions de grande intensité; et, si la dimension des boutons ou sphères K, K est convenable la ressemblance de l'étincelle avec celle d'une machine de Holtz est complète.

Il suffit, maintenant, de changer les conditions de l'expérience pour obtenir d'autres effets également dignes d'intérêt.

Lorsque, au lieu du mode d'excitation de la bobine décrit ci-dessus, nous employons un alternateur de grande fréquence, une étude systématique des phénomènes est rendue beaucoup plus aisée. Dans ce cas, en variant l'intensité et la fréquence du courant primaire, nous pouvons observer cinq formes de décharge, formes que j'ai décrites dans ma Communication sur ce sujet à l'Institut américain des Ingénieurs Électriciens en mai 1891.

Faute de temps, et pour ne pas trop m'écarter de mon sujet, je ne vous en montrerai qu'une. C'est la décharge, en forme de brosse ou pinceau, qui est intéressante à plus d'un point de vue. Vue de près, elle ressemble beaucoup à un jet de gaz s'échappant sous une forte pression. Nous savons que ce phénomène est dû à l'agitation des molécules au voisinage de la borne, et nous prévoyons qu'il doit se développer quelque chaleur provenant du choc de ces molécules, soit entre elles, soit contre la borne. En effet, la décharge est chaude, et un peu de réflexion suffit à comprendre que, si nous pouvions atteindre des fréquences suffisantes, nous pourrions produire ainsi une puissante source de chaleur et de lumière, en tout semblable à une flamme ordinaire, sauf, peut-être, que les phénomènes peuvent n'être pas dus au même agent; sauf, peut-être, que l'affinité chimique peut ne pas être de nature *électrique*.

Comme la production de chaleur et de lumière est due au choc des molécules, ou des atomes de l'air, ou de quelque chose d'autre

Digitized by Google

en plus, et comme nous pouvons augmenter l'énergie simplement en augmentant le potentiel, nous pourrions, même avec les fréquences obtenues d'une dynamo, augmenter l'action au point de porter la borne terminale à la température de fusion; mais, avec ces basses fréquences, nous aurions toujours affaire avec quelque chose de la nature d'un courant électrique. Si j'approche un objet conducteur du pinceau lumineux, une étincelle petite et mince se produit; et même, avec les fréquences que j'emploie ici, la tendance à l'étincelle n'est pas très grande. Ainsi, si je tiens une sphère à quelque distance au-dessus de la borne, vous voyez tout l'espace intermédiaire rempli d'effluves, mais sans qu'une étincelle éclate; et, avec les décharges d'une fréquence bien plus élevée que permet d'obtenir la décharge d'un condensateur, il n'y aurait pas d'étincelle, même aux petites distances, sauf celles dues aux impulsions soudaines, qui sont comparativement en petit nombre. Avec des fréquences incomparablement plus élevées, que nous pourrons trouver le moyen de produire efficacement, et pourvu qu'il soit possible de les canaliser par un conducteur, le caractère électrique de la décharge en pinceau s'évanouirait complètement : aucune étincelle ne passerait, aucun choc ne serait ressenti; mais nous aurions encore affaire à un phénomène *électrique,* mais dans le sens large et moderne qu'il convient de donner à ce terme. Dans ma première Communication, j'ai déjà décrit les curieuses propriétés de cette forme de décharge et indiqué la manière de l'obtenir. J'ai cru devoir y revenir pour essayer de m'expliquer plus clairement sur ce phénomène à cause du grand intérêt qu'il présente.

Lorsqu'une bobine est actionnée par un courant de très grandes fréquences, on peut obtenir de très belles décharges en pinceau, même avec une bobine de dimensions très modérées. L'expérimentateur peut les varier de mille manières; et c'est, à tout le moins, un ravissant spectacle. Ce qui ajoute à l'intérêt est qu'on peut les obtenir avec un pôle aussi bien qu'avec les deux, et, en fait, souvent mieux avec un seul.

De tous les phénomènes observés, les plus beaux et les plus instructifs sont ceux qu'on obtient à l'aide de la décharge disruptive des condensateurs. La puissance des pinceaux et l'abondance des étincelles, lorsque les conditions du phénomène ont été pa-

Digitized by Google

tiemment établies, sont souvent un sujet d'étonnement. Même avec une très petite bobine, si son isolement peut supporter des différences de potentiel de quelques milliers de volts par spire, on peut obtenir des étincelles si abondantes que la bobine entière paraît n'être qu'une masse de feu.

Il est assez curieux que, lorsque les bouts du secondaire sont très éloignés l'un de l'autre, les étincelles semblent s'élancer dans toutes les directions possibles, comme si ces bouts étaient indépendants l'un de l'autre. Comme les étincelles pourraient endommager l'isolation, il faut prendre quelques mesures en conséquence. La meilleure est de plonger la bobine entière dans un bon isolant liquide, tel que l'huile bouillie. Cette immersion peut être considérée comme une condition essentielle au succès dans l'emploi de ces bobines.

Il est naturellement impossible, dans une Communication où quelques minutes seulement peuvent être dépensées à chaque expérience, de montrer les phénomènes dans les meilleures conditions et dans toute leur beauté. Mais, même imparfaits comme ils le seront probablement ce soir, ils sont encore suffisamment frappants pour un auditoire compétent.

Avant de montrer quelques-uns de ses effets, il sera bon, pour être complet, de donner quelques détails descriptifs sur la bobine et les autres appareils employés aux expériences avec la décharge disruptive.

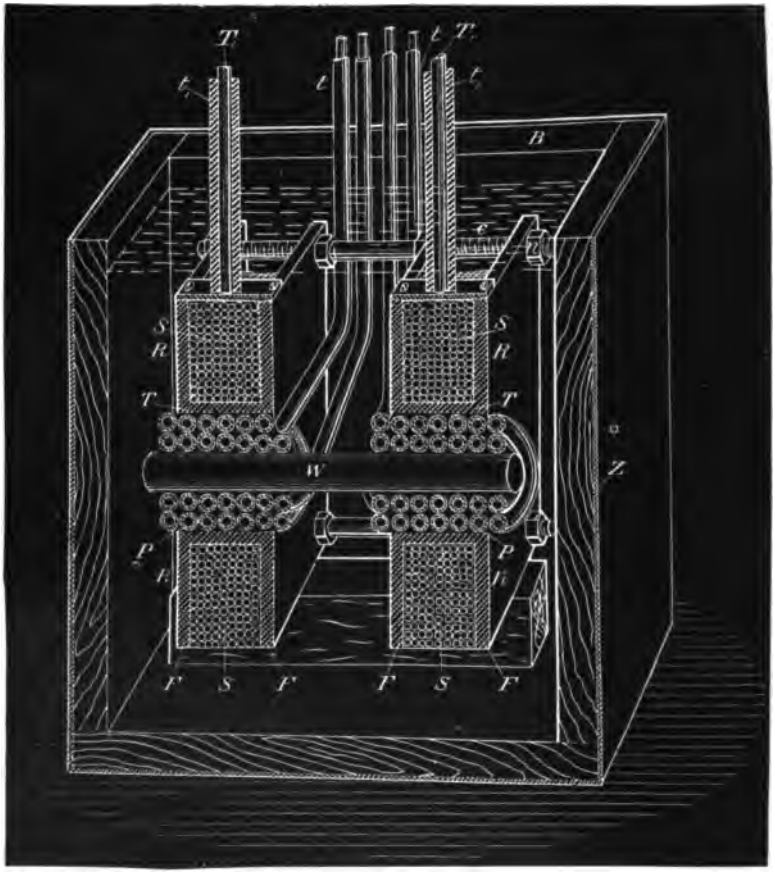
Elle est contenue dans une boîte B (*fig.* 3) à parois épaisses, en bois dur, enveloppée extérieurement d'une boîte en zinc Z soudée tout autour. Quelques circonstances spéciales pourraient faire désirer la suppression de cette boîte, en raison de son action complexe sur la bobine, tant comme condensateur de petite capacité que comme écran électrostatique et électromagnétique. Mais, pour ce que nous nous proposons de faire ici, elle offre quelques avantages, mais trop peu importants pour s'étendre ici sur ce sujet.

La bobine doit être placée symétriquement par rapport à la boîte métallique, et l'espace entre elles doit être assez grand, de 5^{cm} au moins, et plus si c'est possible. Notamment, les deux côtés qui sont à angle droit avec la bobine doivent être assez écartés; autrement, ils contrarieraient son action et seraient une cause de pertes.

Digitized by Google

La bobine comprend d'abord deux carcasses d'ébonite R, R, écartées de 10^{cm} à l'aide de boulons C de même matière. Chaque carcasse comprend un tube T de 8^{cm} de diamètre intérieur et 3^{mm} d'épaisseur, sur lequel sont vissées les joues carrées F, F, de 24^{cm} de côté; leur écartement est d'environ 3^{cm}.

Fig. 3.



Le secondaire SS, formé du meilleur fil isolé à la gutta-percha, y est enroulé en 26 couches de 10 spires chacune, formant 260 spires pour chaque moitié. Celles-ci sont réunies en série par une connexion extérieure. Cette disposition, outre sa commodité, offre cet

Digitized by Google

avantage que, lorsque la bobine est bien équilibrée, c'est-à-dire que ses deux bouts T_1, T_1 sont reliés à des capacités égales, il n'y a pas grande tendance à rupture vers le primaire, ce qui permet une isolation plus mince entre celui-ci et le secondaire. On peut encore, dans le même but, relier au primaire le point milieu du secondaire; mais ceci n'est pas toujours praticable.

Le primaire PP est enroulé en deux parties, aussi opposées, sur une bobine de bois W, et les quatre bouts sont conduits hors de l'huile, protégés par des tubes de caoutchouc durci *t*, *t*. Les bouts T_1, T_1 du secondaire sont protégés de même par des tubes plus épais.

Les couches primaires et secondaires sont isolées par des doubles d'étoffe de coton, dont l'épaisseur est naturellement en proportion avec les différences de potentiel qui s'exercent entre ces couches. Chaque moitié du primaire comprend 4 couches de 24 spires chacune, ensemble 96 spires.

Lorsque ces moitiés sont en série, le rapport de transformation est de 1 à 2,7 environ et devient 1 à 5,4 lorsqu'on les met en arc multiple; mais, lorsqu'on opère avec des fréquences aussi grandes, ces chiffres ne peuvent donner aucune idée, même approximative, du rapport réel des forces électromotrices dans les circuits primaire et secondaire.

La bobine est sur des supports de bois qui maintiennent une épaisseur d'huile de 5^{cm} tout autour.

Cette construction n'est sans doute pas théoriquement la meilleure, mais je la crois très convenable pour la production de tous les effets où un courant très faible et un potentiel excessif sont nécessaires.

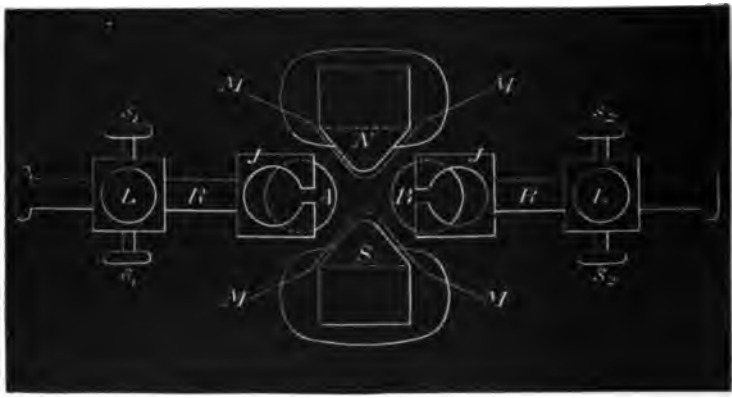
Avec cette bobine, j'emploie, soit un déchargeur ordinaire, soit une modification de celui-ci. Je vais mentionner les deux changements que j'ai apportés à cet appareil, espérant qu'ils seront utiles à quelques expérimentateurs.

Le premier consiste dans l'emploi de deux boutons ajustables A et B (*fig.* 4) formés de sphères tenues dant les griffes J, J formant ressort. On peut ainsi les tourner dans diverses positions, ce qui évite les ennuis d'un repolissage trop fréquent. L'autre changement consiste en un fort électro-aimant NS, placé de manière à produire un champ intense à angle droit avec la ligne qui joint les boutons A

Digitized by Google

et B. Les pièces polaires sont mobiles et conformées de façon à pénétrer entre les sphères pour y créer un champ aussi intense que possible; mais pour éviter que la décharge ne se fasse sur ces pièces elles sont protégées par des feuilles de mica M, M. Les vis

Fig. 4.



s_1, s_1 et s_2, s_2 servent au serrage des fils gros et petits; L, L fixent en place les tiges R, R qui tiennent les boutons. Dans une autre disposition, je produis l'étincelle entre les pièces polaires elles-mêmes qui, dans ce cas, sont isolées et pourvues de chapes en laiton poli.

L'emploi d'un champ magnétique de grande intensité est particulièrement utile lorsque la source est à basse fréquence. L'arc se trouvant soufflé entre les boutons, la décharge fondamentale se reproduit plus fréquemment et facilite nombre d'expériences.

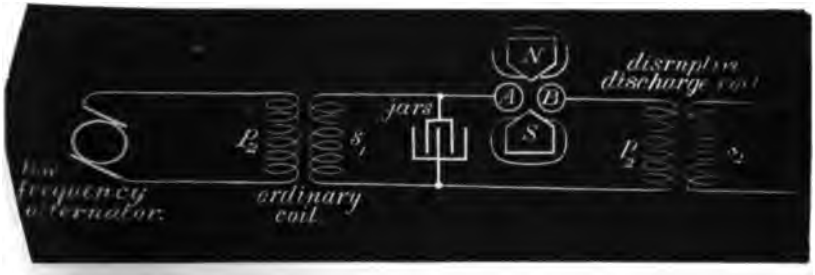
Au lieu de l'aimant, on peut aussi employer un soufflage d'air. Dans ce cas, l'arc est établi de préférence entre les boutons A et B de la *fig.* 2 (les boutons *a* et *b* étant en contact, ou même supprimés). Dans cette position, l'arc est long, instable et très sensible au soufflage.

Lorsqu'on emploie l'aimant, les meilleures connexions sont celles qu'indique le schéma de la *fig.* 5, qui donne un arc plus puissant, et sur lequel l'aimant agit puissamment. L'usage de l'aimant permet aussi de remplacer l'arc par un tube à vide; mais j'ai rencontré de grandes difficultés à travailler avec ces tubes.

Digitized by Google

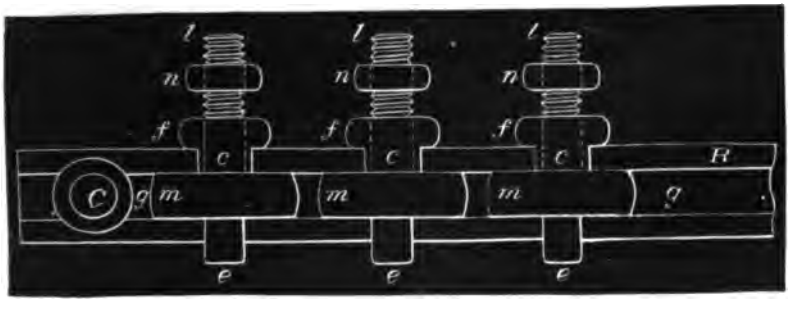
L'autre forme de déchargeur est indiquée *fig.* 6 et 7. Elle consiste en un certain nombre de pièces de laiton *c*, *c* (*fig.* 6), dont chacune comprend une portion de sphère *m* avec un prolongement *e* en dessous (qui sert surtout à tenir les pièces sur le tour

Fig. 5.



pour leur polissage), et une queue verticale comprenant une embase *f*, une partie filetée *l* et un écrou *m*, le tout servant à attacher le fil. Deux fortes pièces de caoutchouc durci R, R munies de rainures *g*, *g* servent à tenir ces pièces, par le moyen des boulons C.

Fig. 6.

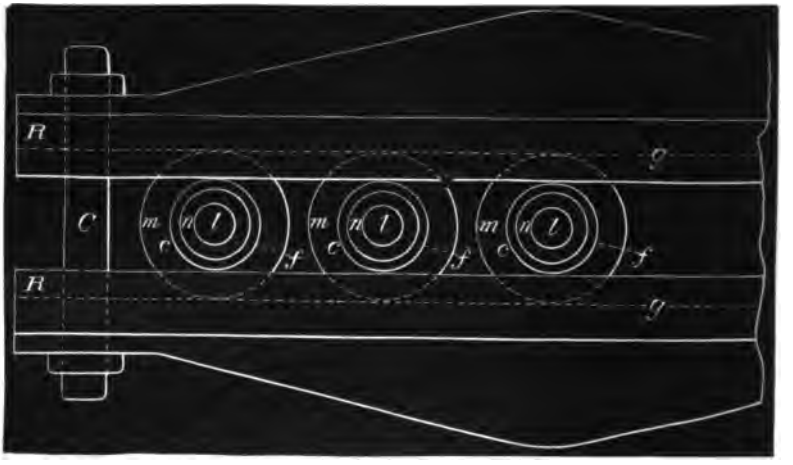


Je trouve à ce déchargeur trois avantages principaux. D'abord l'effet diélectrique d'un espace d'air donné est plus grand lorsque cet espace est subdivisé en plusieurs parties, ce qui permet de travailler dans un espace moindre et diminue les pertes et la détérioration du métal; secondement, en raison de cette subdivision, les surfaces polies durent plus longtemps. Enfin l'appareil permet une sorte de mesure dans les expériences. En général, j'ajuste les

Digitized by Google

pièces en interposant des cales d'épaisseurs mesurées, et qui représentent des distances explosives connues d'après les expériences de W. Thomson. On doit toutefois se rappeler que ces distances sont réduites à mesure que la fréquence augmente. Ce moyen donne donc une idée approximative de la grandeur de la force électromotrice en jeu et donne aussi un point de repère pour la

Fig. 7.



répétition de l'expérience. Avec cette forme de déchargeur j'ai pu maintenir un mouvement oscillatoire sans qu'aucune étincelle fût visible à l'œil nu entre les pièces, et celles-ci n'offraient aucune élévation de température. Elle se prête aussi à des combinaisons de circuits et de condensateurs qui sont souvent utiles. Je l'emploie de préférence avec le groupement de la *fig.* 2, lorsque les courants qui forment l'arc sont faibles.

J'ai essayé nombre d'autres formes, mais sans grands avantages apparents. Dans tous les cas, il est bien entendu qu'aucun de ces appareils ne donne d'effet appréciable si les conditions de self-induction, de capacité et de résistance ne sont pas celles qui donnent lieu à des décharges oscillantes après chaque interruption.

Je vais maintenant essayer de vous montrer les plus importants de ces phénomènes de décharge.

J'ai ici tendu en travers de cette pièce deux fils ordinaires cou-

Digitized by Google

verts de coton, de 7^m de long environ. Ils sont supportés sur deux cordes isolantes, à 30^{cm} d'écartement à peu près. J'attache un bout de chacun d'eux aux pôles de la bobine et je la mets en action. En éteignant toutes les lumières, vous voyez les fils brillamment illuminés par des rayons qui s'échappent malgré la couverture de coton, si épaisse qu'elle soit. Lorsque l'expérience est faite dans de bonnes conditions, la lumière est suffisante pour permettre de distinguer les objets dans toute une pièce; mais cela exige un réglage exact de la capacité des jarres, de l'arc entre les boutons et de la longueur des fils. L'expérience m'a montré que le calcul n'est d'aucun secours en ce qui concerne la longueur des fils. L'expérimentateur doit prendre les fils très longs et les couper d'abord par grands morceaux, puis de plus en plus courts à mesure qu'il approche du réglage convenable.

Un moyen très commode consiste à employer un très petit condensateur à huile, formé de deux plaques ajustables. Dans ce cas, je prends le fil plutôt court et mets d'abord les plaques aussi écartées que possible. Si les rayons lumineux augmentent lorsqu'on approche les plaques, la longueur est à peu près bonne; s'ils diminuent, c'est que les fils sont trop longs pour le potentiel et la fréquence qui sont en jeu. Lorsqu'on emploie un condensateur dans de telles expériences, ce doit être un condensateur à huile, car un condensateur à air dissiperait une grande quantité d'énergie. Les fils qui amènent le courant au condensateur doivent être très fins, entourés d'un isolant épais, lui-même recouvert d'une armature métallique. Cette dernière, qui doit, si possible, pénétrer jusqu'au-dessous du niveau de l'huile, ne doit pas être cependant trop rapprochée des plaques, des bornes ou du fil même, pour que l'étincelle ne tende pas à sauter sur elle. Son effet est d'éviter en grande partie les pertes par l'air, en raison de son effet d'écran électrostatique. Quant aux dimensions des plaques et du vase qui contient l'huile, l'expérimentateur en a une idée suffisante par un essai grossier. En tout cas, la dimension des plaques *dans l'huile* est calculable, en raison de ce que les pertes diélectriques y sont extrêmement faibles.

Dans l'expérience précédente il est d'un intérêt considérable de connaître la relation entre la quantité de lumière émise et la fréquence par le carré du potentiel du courant. Mon opinion est

Digitized by Google

que les effets calorifiques et lumineux sont en raison du produit de la fréquence et le potentiel; mais la vérification expérimentale de la loi, quelle qu'elle soit, ne laisse pas que d'être d'une extrême difficulté. Une chose est certaine, c'est que l'accroissement du potentiel et de la fréquence augmente très rapidement la radiation, et bien que cet espoir soit peut-être bien lointain, peut-être n'est-il pas impossible d'espérer produire un mode d'éclairage pratique dans cette direction. Nous emploierions alors des brûleurs ou des flammes dans lesquels il n'y aurait aucune réaction chimique, pas de matière consommée, mais principalement un transport d'énergie, qui, selon toute probabilité, émettrait moins de chaleur et plus de lumière que les flammes ordinaires.

Lorsque deux fils attachés aux pôles d'une bobine sont placés à une distance convenable, l'effluve entre eux peut être assez intense pour produire une nappe lumineuse continue. Pour montrer ce phénomène, j'ai disposé deux cercles (*fig.* 8) C et *c* de fil un peu fort, l'un de 80^{cm}, l'autre de 30^{cm} de diamètre. Les fils sont reliés respectivement aux pôles, et les plans des cercles coïncident autant que possible. On voit alors, dans l'obscurité, l'espace intermédiaire rempli par une nappe lumineuse assez intense pour être vue d'une grande distance. Avec cette bobine, j'ai pu obtenir des nappes de plus d'un mètre carré; mais ici, pour éviter toute incertitude, la surface a été réduite à $0^{mq},43$.

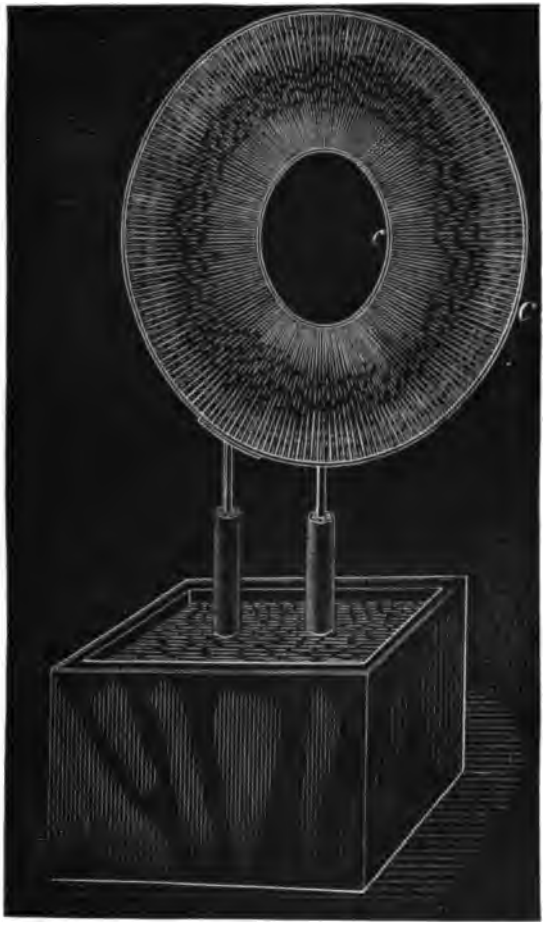
La fréquence des oscillations et la rapidité de succession des étincelles affectent beaucoup l'apparence de l'effluve. A basse fréquence, l'air conduit plus ou moins, comme il le fait sous une différence de potentiel constante, l'effluve consistant en filets distincts au milieu desquels paraissent quelques minces étincelles. Mais à grande fréquence, lorsque l'arc du déchargeur donne un son *élevé* mais *doux*, l'effet lumineux obtenu est parfaitement uniforme. Pour obtenir ce résultat, il faut employer de très petites bobines et des jarres de faible capacité.

Je prends deux tubes de verre de Bohême épais, d'environ 20^{cm} de longueur sur 5^{cm} de diamètre. Dans chacun d'eux j'introduis un primaire formé de très gros fil; dessus je place un secondaire en fil beaucoup plus fin, couvert de gutta-percha. Je réunis les secondaires en série et les primaires de préférence en arc multiple. Les deux sont placés à 10^{cm} ou 15^{cm} de distance sur des

Digitized by Google

supports isolants dans un vase de verre, que je remplis d'huile bouillie qui recouvre les tubes de 2^{cm} à 3^{cm}. Les bouts libres du secondaire sont placés hors de l'huile et à 10^{cm} environ de dis-

Fig. 8.



tance. Deux jarres de 4^{lit} sont réunies en série et disposées pour se décharger à travers le primaire. Quand l'ajustement de la longueur et de la distance des fils est bien exact, on obtient entre eux une masse lumineuse continue sans texture apparente, analogue à celle des tubes à vide imparfait.

Digitized by Google

Je me suis étendu à dessein sur cette expérience en apparence insignifiante. Dans des essais de ce genre, l'expérience montre, en effet, que, pour faire passer des décharges lumineuses à travers les gaz, il n'est pas besoin d'un degré de vide spécial, et qu'on peut y parvenir même à la pression atmosphérique ou à une pression plus élevée. Pour cela, une très grande fréquence est nécessaire ; un potentiel très élevé l'est aussi, mais c'est plutôt une circonstance incidente. Ces expériences nous apprennent que, dans les tentatives pour découvrir de nouvelles méthodes pour produire la lumière par agitation des atomes ou des molécules des gaz, nous n'avons pas besoin de nous limiter aux tubes vides; mais que nous pouvons regarder comme très sérieuse la possibilité d'obtenir des effets lumineux sans user aucun vase ou globe, et à la pression ordinaire de l'air.

La nature nous rend souvent témoins de décharges de ce genre. Si, suivant une croyance répandue, l'*aurore boréale* est produite par de subites agitations cosmiques, telles que des éruptions à la surface du Soleil, qui mettent en vibration très rapide la charge électrostatique de la Terre, la lueur rouge observée n'est pas, j'en suis convaincu, limitée aux hautes régions de l'atmosphère ; mais la décharge traverse aussi, grâce à sa haute fréquence, les régions plus denses, sous forme de *lueur,* analogue à celle des tubes à vide partiel. Si la fréquence est lente, et même si la charge ne vibre pas, l'air dense est rompu par une décharge qui formerait *éçlair*. Des indices d'un tel phénomène de décharge brusque à travers les couches denses de l'atmosphère ont été souvent relevés à propos de ces merveilleux phénomènes naturels; mais, lorsqu'ils se produisent, on ne peut les attribuer qu'à des troubles fondamentaux, qui sont relativement rares, car la vibration produite par eux est bien trop rapide pour donner lieu à une décharge disruptive. Ce sont les impulsions originales irrégulières, comme celles qui affectent nos instruments; et les vibrations qui les accompagnent passent probablement inaperçues.

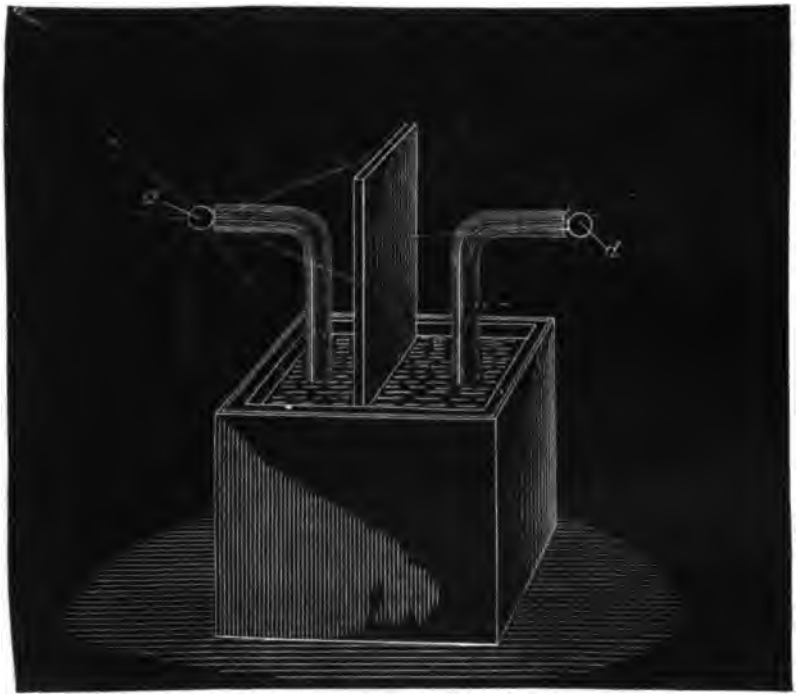
Lorsque la décharge à faible fréquence se produit dans l'air raréfié, elle prend une teinte pourpre. Pour arriver au blanc, il faut forcer la densité électrique, soit en élevant le potentiel, soit en diminuant les surfaces d'émission.

Une des plus curieuses formes de décharge s'observe avec ces

Digitized by Google

bobines lorsque le potentiel et la fréquence sont poussés à leur extrême limite. Pour faire cette expérience, toutes les parties de la bobine doivent être fortement isolées, et il ne doit y avoir d'exposé à l'air que deux petites sphères, ou mieux deux disques de métal, *d*, *d* (*fig.* 9), à bords tranchants, de quelques centimètres

Fig. 9.



de diamètre seulement. Lorsque tout est bien protégé, la décharge ne peut se produire que sur ces sphères ou disques; et, dans ce cas, en l'absence de tout corps présentant une capacité notable, la bobine est capable d'une vibration excessivement rapide. Dans ces conditions, il se produit des effluves blanches vaporeuses, qui s'élancent dans l'espace comme de véritables fantômes. Avec cette bobine, ils peuvent atteindre 25^{cm} à 30^{cm} de longueur. Lorsqu'on expose la main à cette effluve, on ne ressent aucune impression; ce n'est qu'en l'approchant bien davantage de la

Digitized by Google

sphère qu'une étincelle éclate et qu'on en ressent le choc. Si l'oscillation du primaire est rendue intermittente par un moyen quelconque, l'effluve subit un battement correspondant, et il faut encore approcher la main bien davantage pour déterminer une étincelle.

Parmi les expériences que permet cette bobine, j'ai surtout choisi celles qui présentent quelque nouveauté est peuvent conduire à des conclusions intéressantes. Mais on ne trouvera aucune difficulté à produire, dans le laboratoire, beaucoup d'autres effets plus brillants encore, quoique ne présentant pas le même degré de nouveauté.

De récents expérimentateurs ont montré les effets des étincelles d'une bobine d'induction sur une plaque isolée qui sépare les pôles. Récemment, Siemens a fait quelques belles expériences qui ont excité un grand intérêt. Mais les plus larges bobines sont loin de pouvoir donner, dans les mêmes conditions, les effets magnétiques d'effluves et d'étincelles auxquels donne lieu la bobine à décharges disruptives bien employée.

J'en donnerai une idée en disant qu'une bobine comme celle-ci peut aisément couvrir d'effluves une plaque de 1^{m} de diamètre. Il suffit pour cela de prendre une feuille très mince de verre ou d'ébonite, et de coller, sur l'une de ses faces, un anneau étroit de feuille d'étain et, sur l'autre, un disque circulaire de même matière. On les ajuste concentriquement, et on leur donne même surface pour équilibrer la bobine. Les connexions sont faites avec du fil fin, fortement isolé. On observe alors aisément une nappe d'effluves uniformes, ou un fin réseau de filets argentés, ou enfin une masse de grandes étincelles qui couvrent toute la plaque.

Depuis que j'ai fait connaître l'idée d'employer la décharge disruptive oscillante comme moyen de transformation, dans une Communication du début de l'année dernière, à l'Institut américain des Ingénieurs électriciens, un intérêt considérable s'est attaché à ce procédé. Il donna le moyen de produire des potentiels quelconques à l'aide de bobines peu coûteuses, actionnées par un courant alternatif quelconque, et (ce qui, peut-être, est le plus apprécié) il permet de convertir des courants d'une fréquence quelconque en d'autres d'une fréquence différente, moindre ou plus grande. Mais sa principale valeur sera trouvée, peut-être,

Digitized by Google

dans les facilités qu'il donne pour l'étude des phénomènes de phosphorescence, phénomènes que la décharge disruptive permet d'obtenir dans les cas où les plus puissantes bobines ne donnent rien sans elle.

En considération de l'emploi pratique possible de ces bobines et de leur introduction dans les laboratoires de recherches, il me semble nécessaire d'ajouter à leur sujet quelques remarques additionnelles.

On peut employer des fils couverts de plusieurs couches de coton, et tenir la bobine longtemps plongée dans de la cire à cacheter ou autre composition chaude. La bobine obtenue ainsi est plus maniable; mais il semble que l'emploi d'un isolant liquide soit décidément supérieur, sans doute parce que les pertes diélectriques y sont moindres. Après avoir essayé successivement des fils couverts de coton et de soie, j'ai été conduit à n'employer que les fils couverts de gutta-percha, que j'ai trouvée très satisfaisante. Cette isolation augmente sans doute un peu la capacité de la bobine, ce qui est un désavantage, spécialement lorsqu'on veut atteindre des fréquences excessives; mais, en revanche, une épaisseur donnée de cette matière résistera infiniment mieux qu'une même épaisseur d'huile; et c'est là un avantage qu'il faut conserver à tout prix. Une fois immergée dans l'huile, la bobine ne doit pas en être sortie pour plus de quelques heures, autrement la gutta se fendille et la bobine ne vaut plus la moitié de ce qu'elle valait auparavant. La gutta est probablement lentement attaquée par l'huile; mais, après une immersion de huit à neuf mois, je n'ai pas reconnu d'inconvénients.

On doit préférer le fil dans lequel la gutta a une adhérence parfaite sur le cuivre. J'enroule la bobine dans un réservoir d'huile de sorte que les moindres interstices en soient remplis, et je mets entre les couches des épaisseurs d'étoffe de coton bouillie dans l'huile, en nombre proportionné à la différence de potentiel entre les couches. Il ne semble pas que la nature de l'huile employée ait grande importance, et j'emploie soit l'huile de paraffine, soit l'huile de lin cuite.

Il serait avantageux de faire l'imprégnation dans le vide; mais ce n'est guère possible que pour les petites bobines. Pour le primaire, j'emploie un fil ordinaire recouvert d'un fort guipage en

Digitized by Google

coton. Des tresses de fils isolés entre eux et entrelacés convenablement seraient préférables si l'on pouvait les trouver dans le commerce.

Dans une bobine d'expérience, la dimension des fils n'a pas grande importance; dans celle qui est sous vos yeux, le primaire a un diamètre de $2^{mm},2$, et le secondaire $0^{mm},5$, mais ces chiffres n'ont rien d'absolu et l'on peut s'en écarter sensiblement sans modifier les résultats.

La décharge en pinceau qui vient d'être décrite est la source des plus grands dangers pour l'isolation.

Dans les condensateurs principalement, s'il subsiste la moindre bulle d'air, avec des surfaces rapprochées et de hauts potentiels, la rupture est infaillible; tandis qu'un appareil bien privé d'air peut supporter des potentiels beaucoup plus élevés. Les conducteurs également, s'il s'y trouve la moindre bulle d'air, surtout à faible pression, ou la plus petite crique, sont sujets à destruction; aussi je pense que dans l'avenir, pour les distributions à haute tension, les isolants liquides seront les plus employés.

L'une des qualités de ce mode d'isolation est que l'huile se purge des bulles d'air qui peuvent être présentes, lorsqu'elle est soumise à des efforts alternatifs, comme on peut s'en assurer par expérience. Tant que l'air est présent, l'huile s'échauffe à son contact, ce qui détermine une circulation du liquide, dont l'effet est d'emmener peu à peu les bulles, en produisant seulement un léger échauffement de l'huile. Dans les mêmes conditions, un isolant solide n'aurait sans doute pas résisté.

L'exclusion de l'air des appareils, soumis à ces changements rapides, n'est pas moins désirable sous le rapport de l'économie. Dans un condensateur, un diélectrique solide ou liquide ne donne lieu qu'à des pertes insignifiantes; mais si un gaz à la pression ordinaire ou à une faible pression sont présents, il en est autrement. Quelle que soit la nature de l'action produite dans le diélectrique, il semble que, dans les liquides et les solides, le déplacement que la force imprime aux molécules est petit, de sorte que le produit de l'une par l'autre est faible, à moins que la force ne soit excessivement grande. Au contraire, dans le gaz, le déplacement est grand, et, par conséquent aussi, le produit. Les molécules, libres de se mouvoir, acquièrent de grandes vitesses, et les pertes d'é-

Digitized by Google

nergie résultant de leur choc sont considérables. Une forte compression, diminuant la mobilité et le déplacement des molécules, diminue aussi la perte.

Pour les expériences qui vont suivre, j'emploierai de préférence l'alternateur spécial que j'ai fait construire pour ces recherches, et que j'ai décrit dans ma Communication de mai 1891. On en trouvera une description détaillée dans les journaux de cette époque; je rappelle seulement qu'il possède 384 pôles, et peut donner une fréquence de 10000 périodes par seconde environ. Les bobines d'induction qu'il actionne sont plutôt petites, et plongent aussi dans l'huile de lin cuite.

Voici d'abord un phénomène que j'ai observé il y a quelque temps déjà, et qui, au point de vue purement scientifique, pourra être considéré comme un des plus intéressants de ceux que je pourrai vous montrer ce soir. On peut le classer parmi les décharges en pinceau; en fait, c'est une décharge de cette nature qui se produit dans un vide élevé, sur ou près d'une électrode unique. Son existence est assez éphémère dans les globes pourvus d'un conducteur métallique; et même dans ceux qui en sont dépourvus, elle ne peut pas être conservée longtemps dans son état sensitif. J'ai trouvé que les formes des *fig.* 10 et 11 sont les meilleures.

Dans la *fig.* 10, une ampoule de lampe incandescente L reçoit un tube de baromètre *b*, dont l'extrémité a été soufflée en forme de sphère *s*. Celle-ci doit être aussi exactement que possible au centre du globe. Avant de sceller, un mince tube d'aluminium a été glissé sur le tube, mais ce détail n'est pas indispensable. La petite sphère est remplie de poudre conductrice, et un fil *w* permet de la faire communiquer avec le générateur.

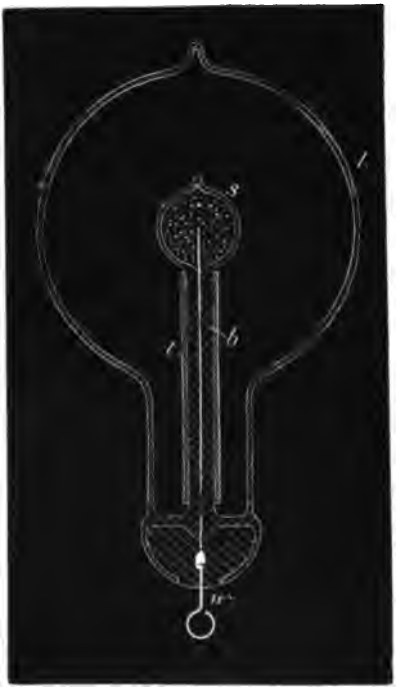
Afin d'éviter tout conducteur intérieur, j'ai construit aussi l'appareil de la *fig.* 11 qui, comme on le voit, comporte deux espaces clos indépendants. Une garniture extérieure en feuilles d'étain est placée autour de *n*, de manière à agir inductivement sur l'air raréfié et hautement conducteur de cette partie. Le courant passe de là à la sphère *s* et agit par induction sur le gaz contenu en L.

Il est avantageux de prendre le tube *b* très épais et percé d'un trou assez petit, et de souffler très mince au contraire la sphère *s*.

Digitized by Google

Celle-ci doit occuper le centre de la sphère, ce qui est très important.

Fig. 10.



Les *fig.* 12, 13, 14 indiquent les états successifs de la décharge. La *fig.* 12 la montre telle qu'elle existe d'abord dans le tube à électrode; mais, comme elle n'y persiste que quelques minutes, je me bornerai à décrire le phénomène tel qu'on l'observe dans l'ampoule sans électrode.

Lorsque dans la grande ampoule L existe un très haut degré de vide, le phénomène n'apparaît pas dès qu'on attache le fil à l'armature d'étain. Mais, pour le faire naître, il suffit, en général, de saisir le globe avec la main. On observe d'abord une phosphorescence intense; mais elle cède bientôt place à une lumière blanche diffuse. Peu après, on remarque que cette lueur n'est pas uniformément répandue dans le globe, et, après quelque temps d'électrisation, le globe prend l'aspect de la *fig.* 13. Ensuite il

Digitized by Google

passe graduellement à l'état représenté par la figure suivante, après quelques minutes, heures, jours ou semaines, selon la manière dont le globe L a été travaillé. Chauffer le globe ou augmenter le potentiel hâte cette transformation.

Fig. 11.

Dans la deuxième forme, la décharge peut être amenée à un état d'extrême sensibilité aux influences électrostatiques ou magnétiques. L'ampoule étant suspendue verticalement au bout d'un fil, et tout conducteur en étant éloigné, il suffit que l'observateur s'approche pour que la décharge s'élance dans le sens opposé, et, si l'on tourne autour du globe, la décharge tourne également en fuyant toujours l'observateur.

Digitized by Google

Elle commence ensuite à tourner autour de la sphère *s*, et devient alors très sensible à l'influence magnétique.

Un petit aimant de 2^{cm} de longueur agit à 2^{m} de distance, accélérant ou retardant la rotation. Je crois avoir reconnu que lorsque la décharge est sensible à l'action magnétique, elle l'est peu à l'action électrostatique.

Fig. 12.

Lorsque le globe pend au bout d'un fil, la rotation a toujours lieu comme le mouvement des aiguilles d'une montre. Dans l'hémisphère sud, le mouvement serait renversé, et il serait nul à l'équateur. La rotation semble synchronique avec les alternations : elle serait donc de 10000 tours par seconde environ; elle semble se faire mieux à angle droit avec les lignes de force du champ terrestre. On peut la retarder ou l'accélérer en s'approchant ou s'éloignant; mais elle ne se renverse pas, quelque position que l'on donne au globe.

Ce fait semble montrer que, dans les courants alternatifs de grande fréquence, les impulsions positives et négatives ne sont pas égales, et que l'une d'elles prédomine toujours.

Sans doute, la rotation peut provenir de l'action mutuelle des

Digitized by Google

deux éléments; et le fait que la rotation paraît subsister dans toutes les positions du globe tendrait à le faire. Mais alors on ne peut plus expliquer comment un aimant renverse le sens de rotation, et il faut revenir à l'hypothèse de la prédominance de l'action dans un certain sens.

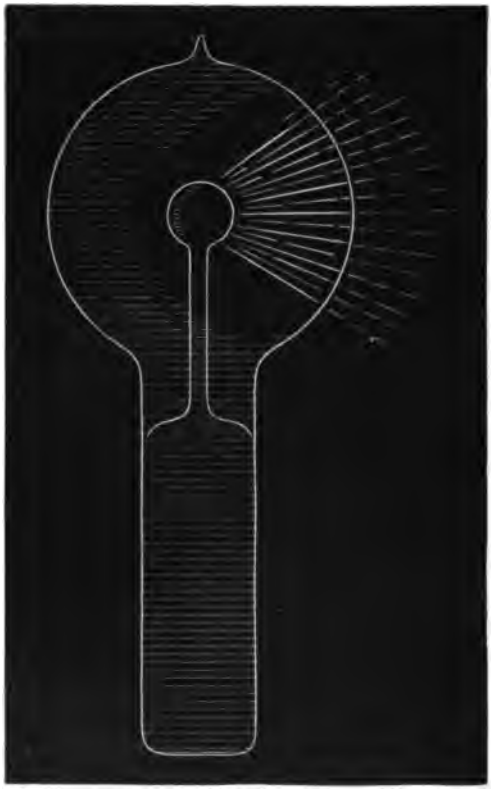
Fig. 13.

Je pense que la cause de la formation en pinceau de cette décharge est due à l'action électrostatique du globe et à quelque dissymétrie. Elle ne se formerait pas, sans doute, si les sphères étaient parfaites, bien concentriques, et d'égale épaisseur. La nécessité d'une irrégularité pour produire le pinceau semble démontrée par sa tendance à prendre une position déterminée, et la rotation ne se produit en général que si on l'excite par une influence électrostatique ou magnétique. Lorsque la décharge est

Digitized by Google

dans l'état d'extrême sensibilité et fixe, si l'observateur présente la main à une certaine distance, assez grande, il lui suffit de raidir simplement les muscles du bras pour faire passer la décharge de l'autre côté. Lorsqu'elle commence à tourner lentement, le

Fig. 14.



moindre mouvement fait à distance a une action visible sur elle. Une plaque de métal reliée à l'autre pôle de la bobine agit à grande distance et ralentit la rotation souvent au taux d'un tour par seconde.

Je suis convaincu que cette décharge en pinceau, lorsque nous saurons la produire convenablement, sera d'un grand secours pour la recherche de la nature des forces qui agissent dans un champ électrostatique ou magnétique. C'est pour ainsi dire un rayon de

Digitized by Google

lumière sans frottement, dépourvu d'inertie, et éminemment propre à déceler tout mouvement mesurable qui peut se produire dans l'espace.

On pourrait lui trouver en Télégraphie des applications possibles; elle permettrait de télégraphier à une vitesse quelconque, à travers l'Atlantique, car sa sensibilité est telle que le plus léger changement l'affecterait. Produite plus intense et plus étroite, elle serait aisément photographiée.

J'ai essayé sans succès de la faire agir pour entraîner un moulinet de mica placé sur le passage du pinceau, afin de découvrir si l'on était en présence d'un véritable mouvement ou d'un effort qui se déplace à l'entour du globe; l'expérience ne m'a rien donné de décisif. Je n'ai pas réussi non plus à obtenir cet effet à l'aide de la bobine à décharge disruptive, bien que celle-ci soit plutôt préférable pour tous les autres phénomènes.

Dans l'emploi des bobines d'induction à très grande fréquence, l'importance de la relation exacte entre la capacité, la self-induction et la fréquence, se manifeste d'une manière très frappante. En raison de la grande valeur des deux derniers termes, celle de la capacité est faible et les moindres changements peuvent altérer profondément les phénomènes.

Voici un petit moulinet en aluminium, monté sur une aiguille, et que je puis placer sur l'une des bornes de la bobine.

Si les attractions et répulsions de l'air s'exercent sur ses ailes d'une manière symétrique, on n'observera aucun effet, bien que les répulsions soient plus fortes; mais, si l'on protège par un écran une des surfaces opposées, le mouvement a lieu. Cela peut se faire en garnissant l'une des faces opposées d'un enduit métallique, ou encore si le moulinet est une hélice, en approchant simplement d'un côté une feuille de métal isolée.

Placé sur une des bornes de la bobine, il tourne librement par exemple, avec des courants de grande fréquence. Avec une fréquence moindre, il ne tourne pas à moins d'employer un potentiel excessif; de même avec potentiel constant. C'est exactement le contraire de ce que donnerait un moulinet à pointes qui tourne d'autant mieux que le potentiel est constant et d'autant moins que la fréquence est plus grande. Maintenant il est possible d'ajuster les choses de telle sorte que, le moulinet ne tournant pas, il suf-

Digitized by Google

fise d'approcher de l'autre borne un corps isolé d'une certaine dimension, pour qu'il se mette en mouvement; de même qu'on peut l'arrêter avec un corps d'une autre dimension, qui diminue le potentiel.

Dans l'expérience précédente, on peut, au lieu du moulinet, se servir du radiomètre électrique, et obtenir des effets semblables. Mais alors la rotation ne se produit qu'avec un très haut degré de vide, ou au contraire à la pression ordinaire : elle n'a pas lieu aux pressions modérés où l'air devient très conducteur. Cette observation a été faite par le professeur Crookes et par moi-même. Je l'attribue à ce que les molécules de l'air n'agissent plus alors comme des corps indépendants portant des charges d'électricité, mais bien dans leur ensemble comme dans un simple conducteur. Peut-être aussi est-ce parce que la plus grande partie de la charge s'échappe du fil qui supporte le moulinet, sans passer par celui-ci. Dans cet essai, il faut encore que le potentiel ne soit pas par trop élevé, afin que l'attraction électrostatique du globe sur les ailettes n'empêche pas le mouvement.

Une autre particularité curieuse des courants de grande fréquence et de haute tension est de permettre de réaliser nombre d'expériences à l'aide d'un seul fil. A beaucoup d'égards c'est un point très remarquable.

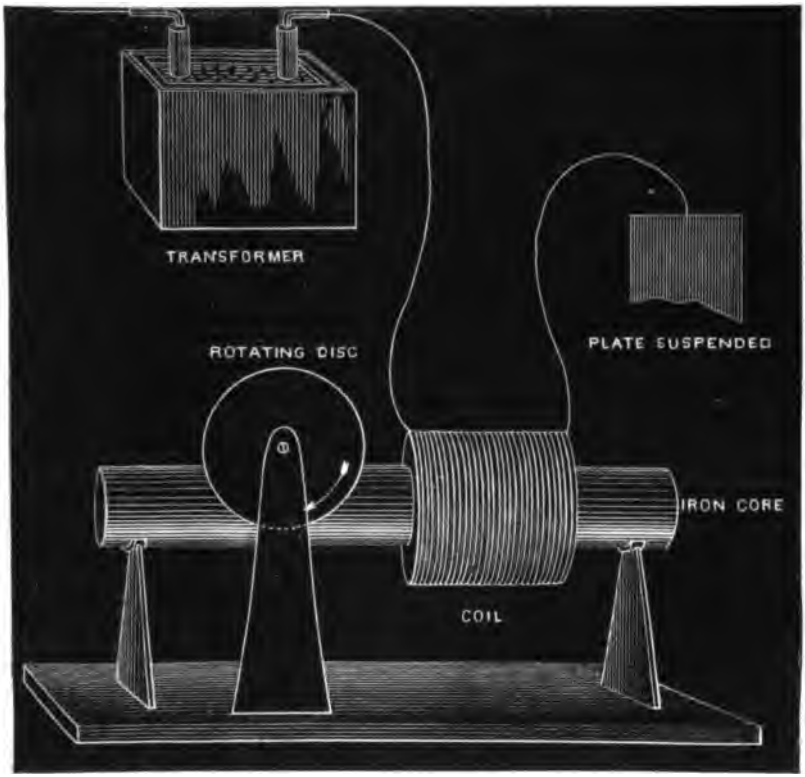
Dans un type de moteurs inventé par moi, il y a quelques années, j'ai produit le mouvement en agissant par induction d'un circuit primaire sur la masse ou sur d'autres circuits secondaires du moteur, en obtenant par ces moyens un champ magnétique tournant. Une forme simple mais grossière de ce moteur s'obtient en enroulant sur un noyau de fer un fil primaire; puis près de celui-ci un fil secondaire fermé sur lui-même, et enfin en plaçant une plaque de métal très mobile dans le champ d'action de l'ensemble. Le noyau de fer n'est pas essentiel, mais son emploi est commode. J'ai découvert aussi que la rotation est obtenue à l'aide d'un seul fil; l'explication que je donne de ce fait, et l'idée qui m'a guidé dans cet essai est qu'il doit y avoir un véritable retard dans l'aimantation du noyau. La question de savoir s'il y a réellement un retard, ou s'il n'est qu'apparent et dû à la circulation de courants parasites dans des circuits très petits, reste ouverte; mais le fait est que la rotation a lieu dans les circonstances indiquées. Il peut

Digitized by Google

être intéressant de rappeler, à propos de l'expérience historique d'Arago, que j'ai pu obtenir des rotations dans le sens opposé à celui de la rotation du champ magnétique; ce qui montre que l'aimant peut ne pas tourner ou même tourner en sens inverse du disque mobile.

Voici (*fig.* 15) un moteur à un fil, représenté schématiquement,

Fig. 15.



et composé d'une bobine sur un noyau de fer, et d'un disque de cuivre librement suspendu dans le voisinage. Je désire vous montrer que ce moteur tourne non seulement en reliant ses deux bornes à celles de la bobine d'induction, mais surtout qu'il tourne aussi lorsqu'on ne relie qu'une de ses bornes à l'une de celles de la bobine, l'autre étant libre dans l'espace. Il est généralement,

Digitized by Google

mais non absolument, nécessaire pour obtenir la rotation de réunir l'autre borne à une plaque de métal librement suspendue dans l'espace. Le corps de l'expérimentateur peut même la remplacer. L'un ou l'autre agit comme condensateur, corrige la self-induction de la bobine et permet le passage d'un courant intense.

Lorsqu'on emploie sur le moteur un bobinage secondaire, il est très difficile d'obtenir la rotation à moins de le fermer aussi sur un condensateur.

Mais, à propos de ce moteur, il y a plus encore : il n'est même pas nécessaire d'avoir une seule connexion entre lui et la bobine, sauf, peut-être, à travers le sol. De même qu'une plaque isolée est capable de dissiper l'énergie dans l'espace, de même elle est apte à l'y recueillir dans un champ électrostatique alternatif. On peut donc attacher à une telle plaque l'une des bornes du moteur, et mettre l'autre à terre.

Il est probable que ces moteurs, sans fils transmetteurs, pourraient être actionnés à de très grandes distances à travers l'air raréfié. Celui-ci offre un passage extraordinairement facile aux courants alternatifs de grande fréquence, même avec une raréfaction très modérée. Les régions supérieures de l'atmosphère sont dans ce cas; et la possibilité de les employer pour actionner à distance dans les conditions indiquées n'est pas douteuse.

Mais ce n'est qu'une possibilité que je mentionne, ne croyant pas qu'il soit nécessaire de transmettre l'énergie par ce moyen. Il ne doit pas être nécessaire de la « transmettre » d'aucune manière. Dans quelques générations, nos machines seront conduites par une puissance disponible en tous les points de l'univers. C'est là une idée fort ancienne, à laquelle les hommes ont été conduits par l'instinct ou la raison. Nous en trouvons la trace jusque dans l'antique fable d'Anthée qui reprenait sa force en touchant la terre. Nous la trouvons exprimée dans les subtiles spéculations des grands mathématiciens, et elle est dans les croyances des penseurs de ce temps.

L'énergie est dans tout l'espace. Est-elle statique ou cinétique? Si elle est statique, tout espoir est vain; mais si elle est cinétique, et nous savons qu'elle l'est certainement, alors ce n'est qu'une question de temps pour que les hommes apprennent à attacher leur machinerie après la roue de la nature. De tous les hommes,

Digitized by Google

celui qui a approché le plus de ce résultat est Crookes. Son radiomètre tourne jour et nuit, à la lumière ou dans l'obscurité, partout où est la chaleur; et la chaleur est partout. Malheureusement ce bel appareil, en même temps qu'il reste peut-être la plus intéressante, reste aussi certainement la plus inefficace des machines qui aient jamais été inventées.

Dans les autres expériences réalisables avec les courants de grande fréquence, celles au moins qui ont rapport à la production de la lumière semblent ouvrir une voie praticable, sinon recommandable. On sait qu'un corps peut être porté à l'incandescence rien que par le voisinage d'une source d'impulsions électriques rapides; et je vais décrire quelques essais tentés dans cette voie.

L'échauffement d'un conducteur enfermé dans un globe dépend de beaucoup de conditions. En ce qui concerne en particulier la dimension des globes, voici le résultat de mon expérience.

A la pression atmosphérique, ou à peu près, lorsque l'air est encore un bon isolant, les plus petits globes sont les meilleurs, comme concentrant mieux la chaleur développée.

Aux pressions moindres, ou lorsque l'air est échauffé au point de devenir conducteur, les corps sont devenus plus incandescents dans de grands globes, car dans ce cas il y a plus d'énergie en jeu. A un vide plus élevé, lorsque la matière du tube commence à prendre l'état radiant, les grands globes ont encore un léger avantage.

Enfin aux degrés de vide excessifs, qu'on n'obtient qu'à l'aide de moyens spéciaux, il n'y a pas d'avantage apparent à dépasser une certaine dimension, assez petite, d'ampoule.

Ces points résultent de nombreuses expériences, parmi lesquelles je puis citer celle-ci : Trois ampoules sphériques, de 50^{mm}, 75^{mm} et 100^{mm} de diamètre ont été pourvues, en leur centre, chaçune d'une égale longueur de filament de lampe incandescente d'épaisseur uniforme. Tout était aussi semblable que possible; sur la tige de verre qui pénétrait au centre et protégeait le fil conducteur relié au filament, on avait fixé un tube d'aluminium bien poli, dont j'expliquerai plus loin la nécessité. Les trois ampoules furent soudées à un tube de verre qui fut relié à une pompe de Sprengel. Le vide fait, on a scellé d'abord le tube, les trois ampoules ne formant ainsi qu'une seule capacité; puis on a scellé

Digitized by Google

celles-ci pour pouvoir les essayer isolément. Les expériences faites dans ces deux conditions ont donné des résultats conformes à ce qui a été dit plus haut.

Une observation intéressante a été faite à ce propos. En suspendant les trois ampoules près l'une de l'autre sur un fil relié à un des pôles de la bobine, on reconnaît que, quelle que soit celle des trois que l'on place au milieu, son éclat est considérablement affaibli. Pour obtenir les éclats normaux, il faut les écarter beaucoup ou les placer au sommet d'un triangle équilatéral, ce qui annule ou équilibre les effets de l'action électrostatique entre les globes.

La forme de l'ampoule a aussi son importance. La meilleure est la forme sphérique, et c'est aussi celle qui convient le mieux pour le corps destiné à être porté à l'incandescence. On peut employer aussi un vase cylindrique avec un filament dans l'axe.

Avec un filament placé dans une ampoule sphérique ou à peu près, de la forme usuelle des lampes à incandescence, on observe, mais seulement avec des degrés de vide très élevés, qu'il se forme des points focaux, sur lesquels le filament est beaucoup plus brillant que partout ailleurs. Je n'ai découvert la cause réelle de ce fait qu'après l'avoir longtemps attribué à un défaut du filament, mais après avoir remarqué que la rupture se produisait toujours au même point.

Pour porter à l'incandescence un corps réfractaire placé au centre d'un globe, il faut s'efforcer d'obtenir que toute l'énergie mise en jeu agisse sur ce corps et nulle part ailleurs.

Cela demande des précautions de construction. Lorsque le corps est monté au centre du globe, le fil conducteur, qui lui amène le courant, traverse une queue intérieure en verre. L'air raréfié qui entoure cette queue est mis en vibration violente par l'induction due à ce fil; de là une cause de dissipation en pure perte de la plus grande partie de l'énergie. C'est pour parer à cette action inductive que je place sur ce tube de verre intérieur une feuille d'aluminium qui agit comme écran. Elle doit dépasser le tube de verre d'un centimètre ou deux et s'approcher le plus possible du corps réfractaire. Cependant les coins de la feuille enroulée qui forment le tube doivent être coupés diagonalement, pour éviter les déformations qu'y produirait la chaleur du corps

Digitized by Google

rayonnant, déformations qui pourraient compromettre le fonctionnement. Ces remarques sont destinées à guider les premiers essais des personnes qui voudraient répéter ces expériences.

L'effet de cet écran d'aluminium est mis en évidence en construisant deux appareils qui ne diffèrent entre eux que par la présence de ce tube sur l'un d'eux. En les soudant à un même tube, et en faisant, par conséquent, un même vide, on peut ensuite reconnaître la grande supériorité de l'appareil pourvu de l'écran.

Son action est entièrement efficace aux très hauts degrés de vide; mais si l'on descend au point où l'air devient conducteur, il devient au contraire nuisible, attirant sur lui la plupart de l'action de bombardement moléculaire.

Comme support du corps réfractaire, ce que j'ai trouvé de mieux a été d'employer un filament ordinaire de lampe incandescente. Ce support doit en tout cas être très mince, et c'est probablement le filament de charbon qui, de tous les conducteurs, est capable de supporter la température la plus élevée. C'est ce qui fait sa supériorité.

Le professeur Crookes a observé que la décharge s'établit beaucoup plus facilement dans un tube lorsqu'il s'y trouve un corps isolant que lorsque c'est un conducteur. A mon avis, le conducteur agit comme amortisseur du mouvement des atomes, en raison de la charge qu'il doit nécessairement prendre si toutes les molécules ou atomes ne le choquent pas avec la même vitesse, charge qui a pour effet de diminuer en grande partie le nombre des chocs subséquents ou d'atténuer tout au moins l'énergie de leur impact.

Voici (*fig.* 16, 17 et 18) quelques-unes des dispositions employées avec des ampoules de forme ordinaire.

La *fig.* 16 montre en coupe l'ampoule L, la queue *s* contenant le fil conducteur *w*, lequel porte un bout de filament *l*, au bout duquel se trouve le bouton réfractaire *m* placé au centre de l'ampoule. M est une feuille mince de mica, enroulée en plusieurs spires autour de *s*, et *a* est le tube d'aluminium.

La *fig.* 17 montre une disposition plus perfectionnée, caractérisée par l'usage d'une enveloppe métallique *s*, bien isolée de *wt*. Pour cela, l'espace entre la partie isolante P et l'ampoule doit être rempli de quelque bon isolant tel que le mica en poudre.

La *fig.* 18 est une disposition expérimentale dans laquelle un

Digitized by Google

fil relié au tube d'aluminium vient à l'extérieur, et que je ne mentionne que pour indiquer l'ordre d'idées qui a dirigé ces expériences.

Du moment que le bombardement contre la partie de verre que traverse le fil est dû à l'action inductive de ce fil sur le gaz raréfié,

Fig. 16.

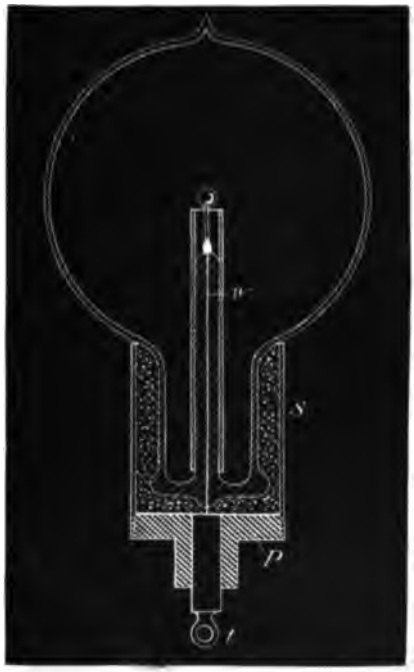
le mieux est d'employer un fil très fin, entouré d'un isolant épais en verre, ou autre matière, et de faire le passage auprès de l'air raréfié aussi court que possible.

A cet effet, j'emploie (*fig.* 19) un large tube T qui pénètre quelque peu dans l'ampoule et porte à son sommet une très courte queue de verre *s* où est scellé le fil *w*. Le tube d'aluminium *a* et la feuille de mica existent comme précédemment. Le fil *w* traversant le large tube doit être bien isolé, par un tube de verre par exemple, et l'espace, entre deux, rempli d'une matière isolante telle que la poudre de mica que je trouve excellente pour cela. Faute de cette précaution, la partie supérieure du tube T serait

Digitized by Google

exposée à être brisée par la décharge en pinceau qui peut se former à cet endroit, surtout avec les grands vides.

Fig. 17.



La *fig.* 20 montre une autre disposition dans laquelle aucun fil ne traverse le verre. L'énergie est transmise au bouton *m* à l'aide des armatures *cc* formant condensateur. Le joint P doit alors être large et bien adhérent au verre; autrement, la décharge passerait par là plutôt que par le fil *w*.

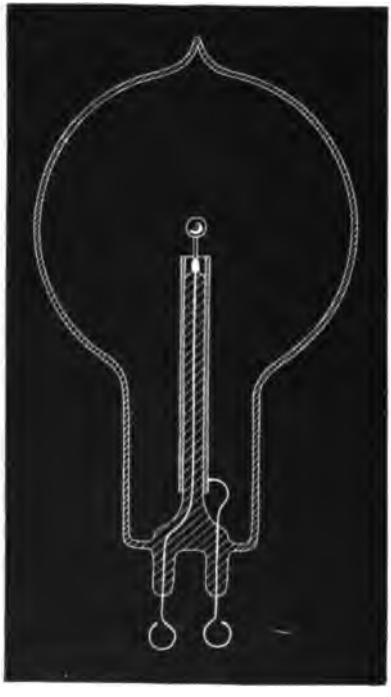
Pour produire l'incandescence d'un corps placé dans une ampoule, il n'est pas nécessaire que ce soit un conducteur, car un isolant parfait peut être à peu près aussi aisément échauffé. Il suffit d'entourer le conducteur de la matière isolante choisie. Au début, le bombardement se produit à travers elle par induction; et bientôt elle s'échauffe et devient assez conductrice pour que le bombardement ordinaire se produise.

Dans la *fig.* 21, on voit un corps non conducteur *m* monté au

Digitized by Google

bout d'un morceau de charbon d'arc. Le tube d'aluminium *a* monte aussi haut que le charbon, et la matière isolante, seule, s'élève un peu au-dessus. Au bout de peu d'instants, c'est elle

Fig. 18.



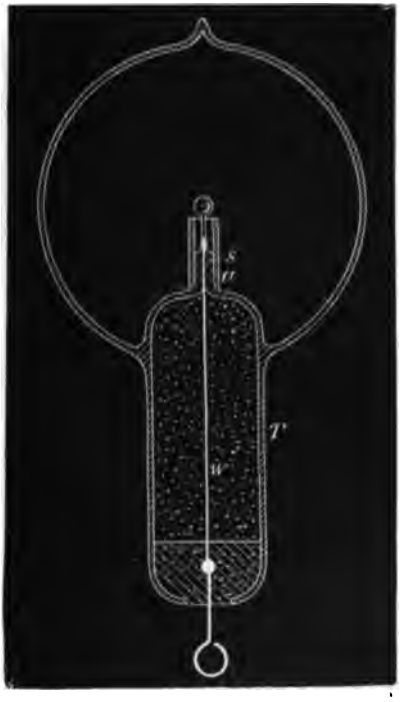
qui est la plus brillante, étant la plus exposée au bombardement.

J'ai construit un grand nombre de ces ampoules à une seule électrode. La *fig.* 22 en montre une forme caractérisée par un long col *n* destiné à recevoir à volonté une armature extérieure, et par un support S où elle est fixée grâce au renflement *b*. Une armature occupe toute la surface du globe en contact avec le support S. Un filament de carbone *f*, qui passe par le centre du globe, est porté à l'incandescence vers son milieu, point de convergence de l'action rayonnant de l'armature extérieure. Ce mode de construction est inférieur au précédent pour porter à l'incandescence un bouton ou un filament; mais il est très convenable pour exciter la phosphorescence.

Digitized by Google

Dans la disposition de la *fig.* 21, on a pu faire quelques remarques intéressantes sur les corps soumis au bombardement. Ainsi, on remarque que, aussitôt qu'une température suffisante

Fig. 19.



est atteinte, l'un des corps semble prendre pour son compte la plus grande part de l'action. Cette qualité semble en rapport avec le point de fusion et la facilité d'évaporation du corps ou, plus généralement, avec sa désintégration. Les particules, ou atomes, ou molécules du corps désagrégé, semblent fonctionner, comme transporteurs de charges électriques, de la même manière que celles de l'atmosphère résiduelle. L'action se porte donc d'autant plus sur le corps qui se désagrège le plus facilement, que par l'élévation de température la désagrégation est encore facilitée.

De là, on peut conclure que la forme de bouton préférable est celle d'une sphère dont la surface soit parfaitement polie. On pourrait en tailler une dans un diamant ou autre cristal; mais il

Digitized by Google

serait encore préférable d'obtenir par fusion, à une température extrêmement élevée, une goutte de quelque oxyde tel que la zircone. Dans l'ampoule, on la maintiendrait un peu au-dessus de son point de fusion.

Fig. 20.

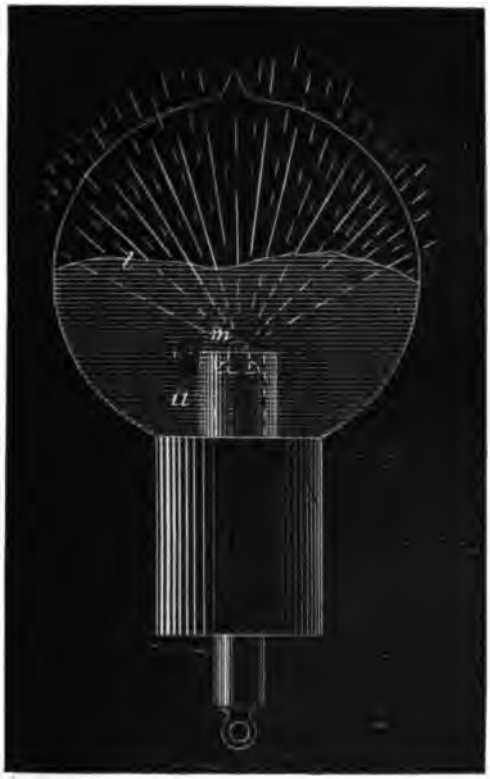
Des résultats importants doivent être atteints dans l'usage des très hautes températures. Mais comment les obtenir? Tout impact, toute collision développe de la chaleur. Dans les procédés chimiques, on est limité, car, lorsque l'oxygène et l'hydrogène se combinent, la hauteur de chute, pour parler métaphoriquement, est limitée. Or, par notre procédé, nous pouvons concentrer une quantité quelconque d'énergie sur un bouton très petit placé au centre d'une ampoule.

La difficulté est seulement d'amener le corps à la fusion avant qu'il ait disparu en particules. J'ai essayé maintes fois de fondre

Digitized by Google

de la zircone placée dans une cavité creusée dans un charbon d'arc, monté comme l'indique la *fig.* 21. Je l'ai porté à un éclat lumineux considérable; les particules qui s'en échappaient étaient d'un blanc très vif, mais toujours, qu'elle eût été comprimée ou

Fig. 21.



mise en pâte avec du carbone, elle a été désagrégée avant d'atteindre la fusion.

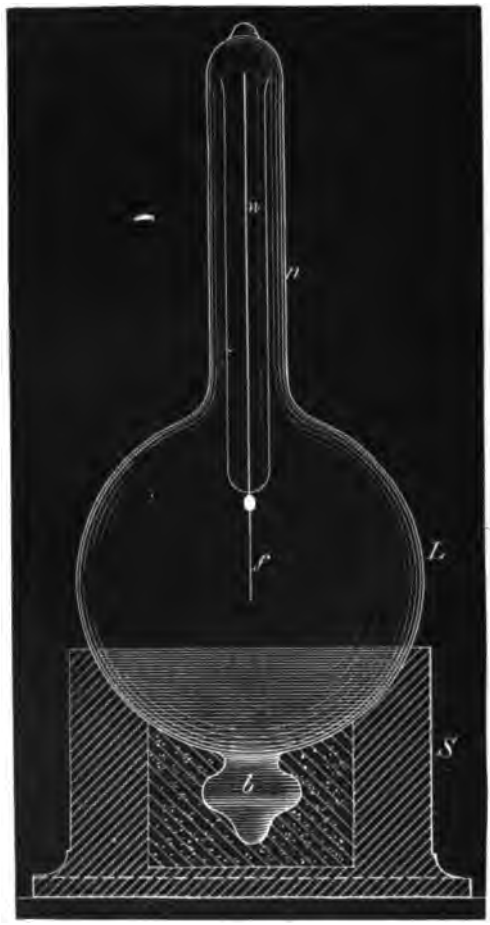
La difficulté signalée n'existe pas lorsque le corps monté dans la coupe en charbon offre une grande résistance à la détérioration. Un oxyde, d'abord fondu au chalumeau et monté ensuite dans l'ampoule, peut y être aisément fondu.

Généralement, la fusion s'accompagne de magnifiques effets lumineux dont il est difficile de donner une idée exacte. La *fig.* 21 est destinée à montrer l'effet obtenu avec une goutte de rubis. Dès

Digitized by Google

que la fusion commence, la phosphorescence devient intense, d'abord sous forme d'une ligne définie *l* qui s'élargit et envahit peu à peu tout le globe. Lorsque le rubis est fondu, on peut retourner l'ampoule sans qu'il tombe, car la masse possède une grande viscosité.

Fig. 22.



Certains essais semblent indiquer, mais sans en donner la certitude, que, dans le vide très élevé, on peut entretenir la fusion à une température moindre que par les procédés ordinaires. J'ai cru remarquer ce fait par une grande différence d'éclat que présentait

Digitized by Google

une goutte de pierre ponce fondue d'abord à un feu de coke, puis au sein de l'ampoule vide.

Dans le cours de ces expériences, de très nombreux essais ont été faits avec des boutons en charbon. Les meilleurs sont ceux qui ont été soumis à une forte compression. Le carbone déposé par les procédés appliqués aux lampes incandescentes ne se comporte pas bien et amène un noircissement rapide de l'ampoule. Quelques espèces se comportent assez bien pour que la fusion ne puisse en être obtenue que sur de très petits boutons. L'observation est rendue difficile par la grande lumière produite, et l'état liquide semble très instable. Parmi les corps essayés, deux surtout se sont bien comportés, le diamant et le carborundum. Ce dernier, préférable sous bien des rapports, étant, je crois, assez peu connu, je vais en dire quelques mots.

Il a été récemment produit par M. Acheson, de Monongahela City, en Pensylvanie. Il remplace avec succès la poudre de diamant pour le polissage des pierres précieuses. Grâce à l'inventeur, j'en ai eu quelques échantillons que j'ai essayés. On peut l'obtenir sous deux formes, en cristaux ou en poudre. Les cristaux paraissent, à l'œil nu, sombres mais très brillants; la poudre ressemble à celle du diamant, mais est beaucoup plus fine. Au microscope, les cristaux ne présentent pas de formes définies, ressemblent plutôt à du charbon concassé. La plupart des morceaux sont opaques, quelques-uns seulement sont transparents et colorés. C'est une variété de carbone, contenant quelques impuretés; très dure, et résistant très longtemps à la flamme du chalumeau à oxygène. La faible quantité de résidu vitreux qui reste m'a paru être de l'alumine fondue. Fortement comprimés, les cristaux conduisent bien, quoique moins bien que le charbon ordinaire. La poudre, au contraire, ne conduit pas. C'est une excellente matière pour le polissage des pierres.

Bien que j'aie eu peu de temps pour l'essayer, j'ai reconnu à cette matière de précieuses propriétés. Elle résiste très bien au bombardement moléculaire et ne noircit pas les globes. La principale difficulté que j'ai rencontrée a été de trouver une matière agglomérante qui lui soit comparable.

J'ai ici des lampes montées avec des boutons de carborundum. Je les obtiens en prenant un bout de filament de lampe incandescente que je plonge dans du goudron ou toute autre matière de

Digitized by Google

carbonisation facile. Je passe ensuite dans les cristaux et je porte le tout au-dessus d'une plaque chaude. Il se forme une goutte que je laisse refroidir lentement; et, en recommençant plusieurs fois l'opération, j'obtiens un bouton de la dimension voulue. Une fois monté dans l'ampoule, on fait passer d'abord une faible, puis une forte décharge, après qu'on a atteint un bon vide. On chasse ainsi toutes les bulles d'air et l'on termine par une forte incandescence.

Avec la poudre, on peut faire d'avance une pâte de goudron et de carborundum, et opérer de la même manière.

Il n'est pas douteux que le bouton, ainsi préparé, ne soit ce qu'il y a de mieux pour résister au bombardement. La difficulté réside dans la matière agglomérante, qui se désagrège. Cependant le carborundum non seulement résiste bien à la haute température, mais encore s'unit au charbon mieux que toute autre matière. Le diamant donne à peu près le même résultat; cependant la matière agglomérante se détruit plus vite, ce que j'attribue à l'irrégularité des grains.

Il était intéressant d'étudier cette matière au point de vue de la phosphorescence. On devait s'attendre à rencontrer là deux difficultés : d'abord, les cristaux sont conducteurs et l'on sait que les conducteurs n'ont pas de phosphorescence; et, d'autre part, la poudre n'en est guère susceptible non plus, car le diamant ou le rubis, finement pulvérisés, perdent presque complètement leurs propriétés lumineuses.

En fait, quelques essais m'ont fait croire un moment que les cristaux devenaient phosphorescents; mais j'ai reconnu, par la suite, que ce n'était qu'une apparence. Quant à la poudre, je n'ai rien obtenu. Mais, pour trancher la question, il serait nécessaire d'obtenir le carborundum sous la forme d'un morceau assez gros pour pouvoir subir le polissage.

La production d'une petite électrode capable de supporter des températures très élevées est de la plus grande importance pour la production de la lumière. Elle nous permettrait d'obtenir, par le moyen des courants de très grande fréquence, certainement vingt fois plus de lumière, sinon davantage, que nous n'en obtenons maintenant, d'une quantité déterminée d'énergie, à l'aide des lampes incandescentes.

Cette estimation peut paraître exagérée, mais je crois qu'il est

Digitized by Google

loin d'en être ainsi. Comme cette affirmation pourrait être mal comprise, je crois nécessaire d'exposer clairement le problème tel qu'il se présente, et d'indiquer la voie dans laquelle je crois qu'une solution est possible.

En commençant cette étude, on pourrait croire que ce qu'il faut obtenir c'est une haute température de l'électrode. C'est une erreur. La vive incandescence du bouton est un mal nécessaire; mais ce qu'il faut réellement obtenir, c'est la vive incandescence du gaz qui entoure ce bouton. En d'autres termes, le problème est de porter à la plus haute incandescence possible une masse de gaz.

Plus grande sera la fréquence, plus vive la vibration moyenne, et plus économique sera la production de lumière. Mais pour maintenir une masse de gaz à l'état incandescent dans un vase de verre, il faut la tenir loin du verre; c'est-à-dire, pratiquement, la confiner au centre du globe.

Dans une des expériences de ce soir, je vous ai montré une décharge en pinceau à l'extrémité d'un fil. C'était une flamme, une source de chaleur et de lumière. Pas très chaude ni très brillante sans doute; mais est-ce moins une flamme parce qu'elle ne me brûle pas la main et ne m'éblouit pas de son éclat? Le problème est de produire dans l'ampoule une telle flamme, mais beaucoup plus petite et plus puissante. L'ampoule n'est nécessaire que faute des moyens matériels nécessaires pour pouvoir s'en passer, ce que permettrait une fréquence bien plus élevée. Dans l'ampoule, nous pouvons, avec nos moyens, amplifier le phénomène de la décharge en pinceau, et le transformer de manière à en obtenir une forte lumière. Les facteurs en sont surtout le potentiel, la fréquence et la densité à la surface de l'électrode. Aussi faut-il employer un bouton aussi petit que possible pour accroître la densité. Sous le choc violent des molécules du gaz qui l'environnent, le bouton est sans doute porté à une vive incandescence; mais la masse de gaz qui l'environne, vivement incandescente, forme une flamme ou photosphère dont le volume atteint plusieurs centaines de fois celui du bouton. On pourrait penser que, en poussant aussi loin que possible l'incandescence de l'électrode, elle serait instantanément volatilisée; mais la réflexion montre que cela ne doit pas être, et l'expérience le confirme; et c'est dans ce fait que gît principalement la valeur de ce genre de lampes.

Digitized by Google

Au commencement du bombardement, l'électrode devient très chaude; mais à mesure que le gaz s'échauffe et devient plus conducteur, il absorbe une plus grande part de l'énergie. L'électrode se trouve donc moins frappée, et plus le gaz absorbe d'énergie, plus le bouton est protégé. C'est donc la formation d'une puissante photosphère qui est le vrai moyen de protection de l'électrode. Ce moyen est tout relatif, bien entendu, et il ne faudrait pas en conclure que, si l'on atteint un degré d'incandescence encore plus élevé, l'électrode sera moins détériorée. Ces considérations diffèrent infiniment de celles qui concernent les lampes incandescentes ordinaires, dans lesquelles tout le travail est accompli dans le filament sans que le gaz y prenne aucune part.

Avec ces lampes à une ou deux électrodes, il est nécessaire d'employer de très hautes fréquences qui donnent deux avantages principaux : d'abord la détérioration des électrodes est moindre sous l'action d'un grand nombre de petits chocs que sous un petit nombre de violents; ensuite la formation d'une photosphère puissante en est facilitée. Le courant doit être aussi de préférence harmonique, ce qui donne une supériorité à l'emploi de l'alternateur sur celui des décharges disruptives, celles-ci donnant lieu à des décharges fondamentales brusques.

L'un des grands éléments de perte dans ces lampes est le bombardement du globe. En raison du très grand potentiel, les vitesses moléculaires sont très grandes et excitent une forte phosphorescence. Le phénomène est fort joli, mais c'est une cause de perte qu'il faudrait atténuer. On y parvient en élevant autant que possible la fréquence et en diminuant la densité électrique à la surface de l'électrode. A ce point de vue aussi, l'emploi de lampes à deux électrodes est favorable, la seconde étant reliée à la borne libre de la bobine, ou au sol, ou encore à un corps isolé de dimension convenable, tel que l'abat-jour de la lampe. Cependant, à tout prendre, je crois préférable la forme à une seule électrode, sans fil qui traverse le verre, l'ensemble étant monté conformément à la *fig.* 20, avec des armatures formant condensateur.

Dans tous les cas, on augmente l'action en augmentant la capacité à l'extrémité du conducteur relié à la borne. Cet artifice n'est nécessaire que faute de fréquences suffisamment élevées; il est facile de disposer les appareils en conséquence.

Digitized by Google

La *fig.* 23 représente un globe L pourvu d'un long prolongement *n* destiné à recevoir une armature de feuille d'étain qui peut elle-même être reliée à un corps de plus grande surface encore.

Fig. 23.

On peut aussi bien relier l'armature à la bobine et le bouton par le fil *w* au corps isolé; le résultat est le même. On peut aussi glisser sur *n* un abat-jour métallique qui augmente l'effet.

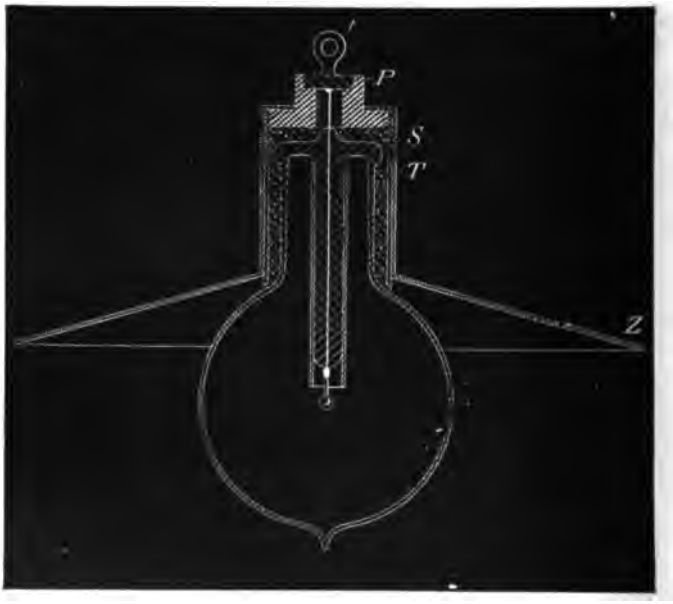
La disposition de la *fig.* 24 est plus parfaite; la pièce Z avec son prolongement T augmentent l'action; et Z sert de réflecteur

Digitized by Google

en même temps. La lampe est suspendue en *t* et le bouton isolant P isole le prolongement T du conducteur *t*.

Une disposition semblable, mais avec tube phosphorescent, est représentée par la *fig.* 25. Le tube T est formé de deux tubes concentriques soudés aux extrémités. C'est une armature reliée au fil *w* qui remonte par l'intérieur au milieu d'une masse de matière isolante bien tassée. C_1 et le réflecteur Z sont à l'autre extrémité, et bien isolés de *w*.

Fig. 24.

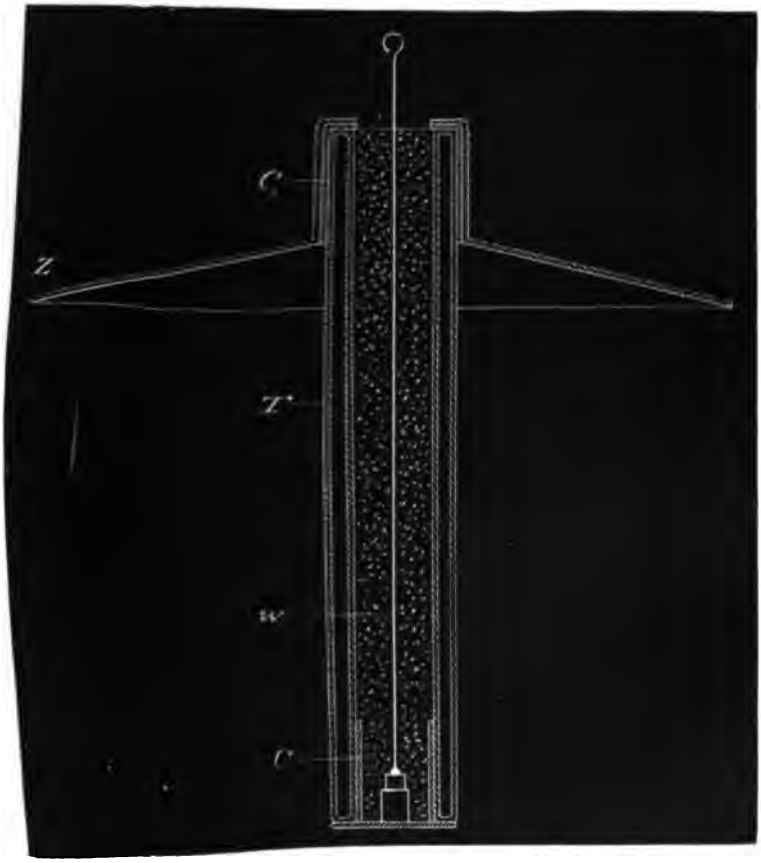


Avec les lampes à une électrode, c'est évidemment un avantage que de diminuer la circulation du gaz dans l'ampoule pour y concentrer la chaleur. Un très petit globe la concentrerait très bien, mais aurait trop peu de capacité ou bien deviendrait trop chaud. Il vaut mieux prendre un globe de dimension convenable, et en placer un second, de diamètre plus petit, autour du bouton. La *fig.* 26 indique une lampe de ce genre où le petit globe *b* entoure le charbon et est monté sur le prolongement *s* et le tube d'aluminium *a* à l'aide de plusieurs couches de mica M. Lorsqu'on veut obtenir la lumière par incandescence du bouton, il faut que *b* soit petit. Si au contraire on veut de la phosphorescence, il faut le

Digitized by Google

faire plus grand, car un globe trop chaud ne peut devenir phosphorescent. On peut aussi bien augmenter la dimension du bouton *m*, ce qui revient au même. En recouvrant le petit globe d'un enduit phosphorescent, on obtient de très beaux effets.

Fig. 25.



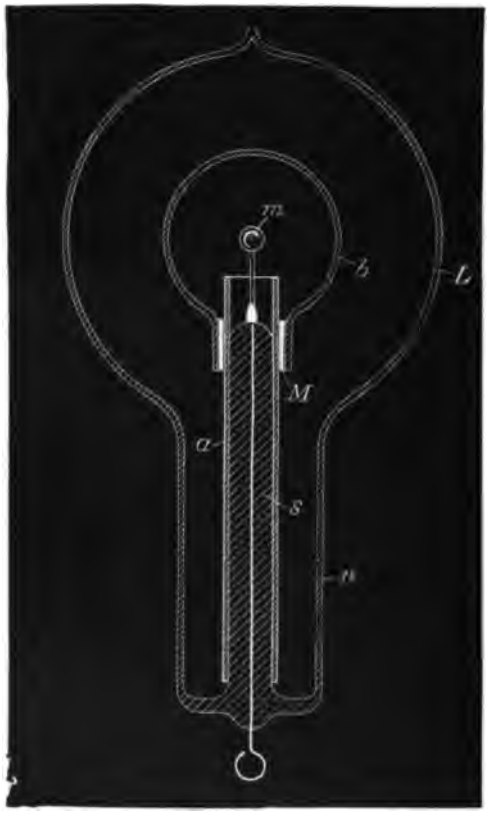
J'ai construit beaucoup d'appareils semblables à celui de la *fig.* 27. Ici, le petit globe *b* est vidé d'air aussi complètement que possible, tandis que dans L on fait un vide modéré, ce qui permettait d'atteindre de très hauts vides tout en employant un grand globe. Avec cette forme, j'ai reconnu qu'il faut donner une grande épaisseur à la partie *s* dans le voisinage de la soudure *e*, et prendre

Digitized by Google

le fil w très fin, afin d'éviter les ruptures. Les effets varient avec le degré de vide dans l'ampoule L.

Une difficulté qui se rencontre ici, de même que toutes les fois que le bouton réfractaire est enfermé dans une petite ampoule, est que le vide y devient mauvais après un temps assez court.

Fig. 26.

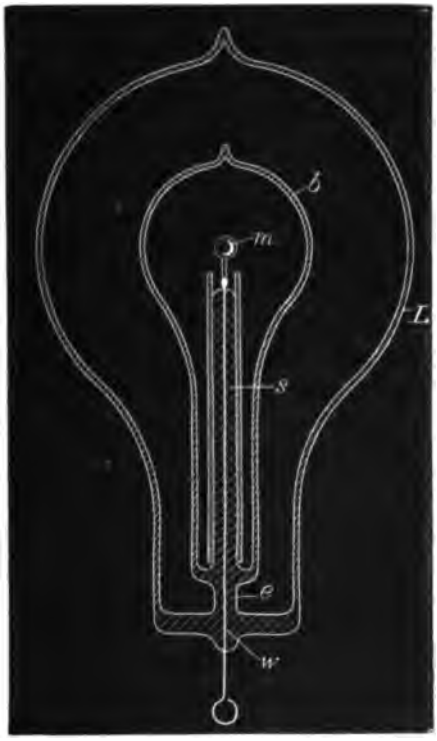


J'ai déjà dit bien des fois que le meilleur de tous les moyens, pour arriver au succès dans cette voie, serait d'employer des fréquences bien plus élevées. On pourrait atteindre un point où il n'y aurait plus d'échange de matière aux environs de l'électrode. Nous produirions ainsi une flamme sans transport de matière, et une flamme vraiment étrange, car elle serait rigide, en raison de ce que l'inertie des particules entrerait en jeu.

Digitized by Google

En raison des déductions spéculatives auxquelles cette considération peut conduire, j'ai jugé qu'il serait d'un grand intérêt de démontrer la rigidité d'une colonne gazeuse en vibration. Les faibles fréquences de 10000 par seconde que pouvait donner l'alternateur constituaient une difficulté quelque peu décourageante; néanmoins j'entrepris les essais. A la pression ordinaire, je n'ai rien pu obtenir; mais, dans un vide modéré, j'ai obtenu ce que je crois être une preuve évidente du phénomène. Comme un résultat de ce genre peut conduire à des conclusions importantes, je vais décrire l'une des expériences.

Fig. 27.



On sait que dans un tube à vide très modéré la décharge peut être obtenue sous forme d'un filet lumineux délié. A basse fréquence, ce filet est inerte; un aimant l'attire ou le repousse selon la direction des lignes de force de l'aimant. J'ai pensé que, si une décharge de cette forme était due à des courants de très grande

Digitized by Google

fréquence, elle serait plus ou moins rigide, et facile à étudier sous cette forme. J'ai donc préparé un tube d'environ 2^{cm} de diamètre et de 1^{m} de longueur, muni d'une armature extérieure à chaque extrémité. Le vide a été fait jusqu'au point où le courant de grande fréquence détermine facilement la production du filet lumineux. Jugeant préférable de travailler avec un seul pôle, j'ai suspendu le tube verticalement à un fil relié à la bobine; et à l'armature inférieure était attachée selon le besoin une petite plaque isolée. Le filet s'étendait donc du haut en bas; s'il était doué de rigidité, il devait se comporter comme une corde élastique fixée à une extrémité et chargée d'un poids léger à l'autre. Lorsque le doigt ou un aimant était approché, puis éloigné rapidement, il devait se produire un effet analogue à celui qu'on observe sur une corde frappée près de son point d'attache.

En essayant l'expérience, je vis le filet lumineux mis en vibration, et former deux nœuds de vibration bien définis et un troisième moins distinct. Le mouvement continua ainsi huit minutes et s'amortit peu à peu.

La vitesse de la vibration éprouvait des variations sensibles, et l'on pouvait remarquer que l'action électrostatique du verre influait sur le mouvement; mais il était clair que cette action n'était pas la cause du mouvement, car le filet était généralement au repos et la vibration pouvait toujours être excitée en passant le doigt rapidement auprès de la partie supérieure du tube.

A l'aide d'un aimant, le filet pouvait être fendu en deux parties, et toutes deux mises en vibration. En approchant la main de l'armature inférieure, ou bien en y attachant une plaque isolée, la vibration était accélérée, de même, autant que j'ai pu le voir, en augmentant le potentiel et la fréquence. Ces dernières actions équivalent donc à une tension supplémentaire de la corde vibrante.

Je n'ai pu réussir cette expérience avec les décharges de condensateurs, sans doute parce que, malgré l'excessive vitesse, la quantité de matière mise en jeu est trop faible pour que l'inertie puisse se manifester. L'observation, dans ce cas, est aussi rendue très difficile par la vibration fondamentale.

Il est un sujet que je dois aborder à propos de ces expériences : c'est celui de l'obtention des hauts degrés de vide. Dans les lampes à incandescence ordinaires, il n'y aurait aucun intérêt marqué à

Digitized by Google

pousser le vide beaucoup plus loin qu'on ne l'a fait actuellement. Mais, avec les potentiels élevés et les grandes fréquences, les résultats dépendent dans une grande mesure du degré de vide obtenu. Avec les moyens que nous possédons aujourd'hui et qui nous permettent d'obtenir des potentiels extrêmement élevés à l'aide de petites bobines, on peut dire qu'il est toujours possible de faire passer une décharge dans un globe, quel que soit son degré de vide, et sans rencontrer de « vide impénétrable à l'étincelle », comme avec les moyens ordinaires.

Le champ de recherches est ainsi considérablement étendu et les grands vides semblent être la voie la plus féconde en promesses pour conduire à la réalisation d'une lumière pratique. Mais, pour cela, les appareils à vide doivent être encore grandement perfectionnés et la perfection sera sans doute obtenue lorsque nous aurons rejeté tous les moyens mécaniques et mené à bien une pompe à vide purement *électrique*.

Les molécules et les atomes de l'air peuvent être chassés d'un globe de verre sous l'action d'un énorme potentiel; ce sera là le principe des pompes à vide dans l'avenir. Pour le moment, nous devons nous en tenir aux moyens mécaniques, et je crois intéressant de décrire rapidement les appareils auxquels l'expérience m'a conduit.

La *fig.* 28 les représente. S est une pompe de Sprengel un peu spéciale. Un bouchon creux *s*, venant s'adapter dans le réservoir R, remplace le robinet d'arrêt habituel. Le mercure passe par un petit trou *h* et s'écoule par l'orifice *o*, qui est proportionné au tube *t* qui est scellé au réservoir au lieu d'y être joint par la méthode habituelle.

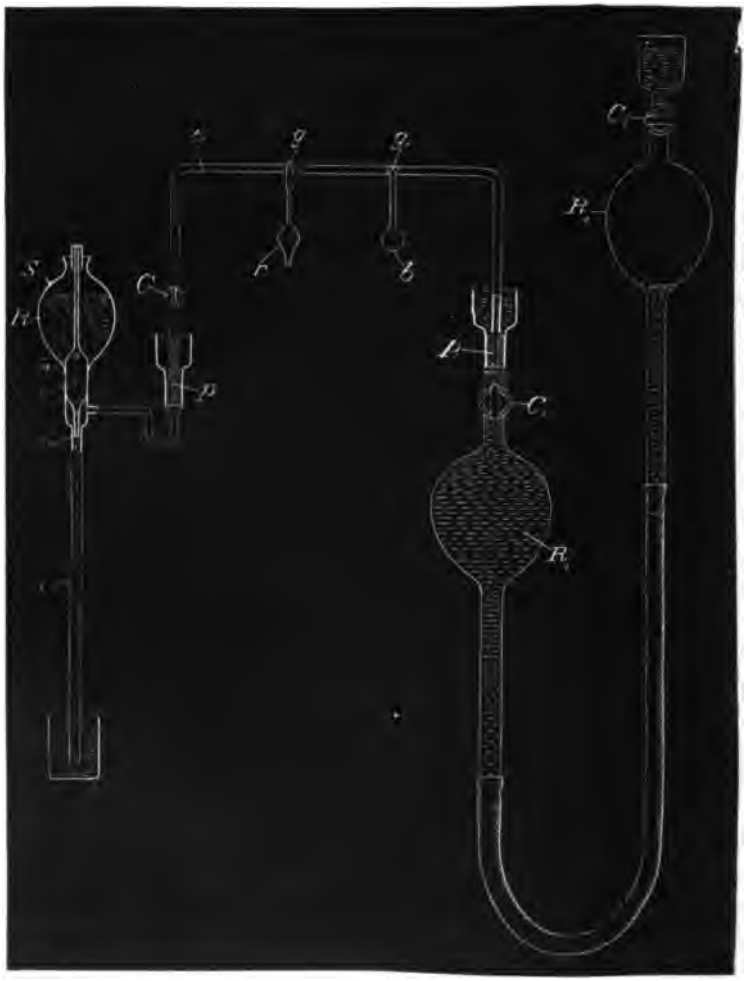
La pompe est reliée par un tube en U renversé, *t*, à un très grand réservoir R_1. Les surfaces rodées *p* et p_1 doivent être très soignées, très longues, être couvertes de mercure, sur une hauteur également grande. Le tube *t* une fois en place est chauffé, afin de faire disparaître les tensions provenant d'un ajustage imparfait. Ce tube est muni d'un robinet d'arrêt *c* et de deux connexions *g*, g_1, l'une destinée à l'appareil à vider *r*, l'autre à une ampoule *b* qui renferme de la potasse caustique.

Le réservoir R_1 est relié à un autre, R_2, un peu plus grand, à l'aide d'un tube de caoutchouc; ils sont pourvus de robinets C_1 et C_2. Un mécanisme convenable permet de manœuvrer R_2 de façon

Digitized by Google

que le mercure puisse monter jusqu'au-dessus de C_1 ou, au contraire, évacuer complètement R_1 en montant dans l'autre réservoir jusqu'au-dessus de C_2.

Fig. 28.



La capacité de la pompe de Sprengel et de l'appareil à vider sont aussi faibles que possible comparativement à celle de R_1, le degré du vide dépendant de leur rapport.

On trouvera une grande facilité et économie de temps à chauffer et fondre la potasse caustique chaque fois que la pompe est mise

Digitized by Google

au repos; autrement, les bâtons, tels qu'on les emploie, donnent à la longue un peu d'humidité qui empêche d'atteindre les grands vides, même après des heures de marche.

On procède généralement ainsi : Ayant ouvert C et C_1 et fermé les autres connexions, on élève R_2 jusqu'à ce que le mercure arrive dans le tube de fonction. On met alors la pompe S en fonction, et l'on abaisse peu à peu R_2, pour que le mercure conserve à peu près son niveau au-dessus de C_1. Il est commode d'équilibrer R_2 par un long ressort, qui facilite les mouvements.

Quand la pompe a fini de travailler, on abaisse R_2 de manière à vider R_1, et l'on ferme R_2. On fait alors aller et venir R_2 un grand nombre de fois pour rassembler l'air qui adhérait aux parois du tube sous le robinet R_2. On ouvre celui-ci pour l'expulser et on le referme aussitôt.

On chauffe alors la potasse caustique, et l'on recommence l'opération avec R_1 et R_2 pour chasser l'humidité. Le tout est répété un grand nombre de fois. Au moment de séparer l'ampoule, on entoure le globe *b* à l'aide d'une étoffe imprégnée d'éther, afin de tenir la potasse à très basse température. On abaisse R_2 pour vider R_1 et l'on scelle rapidement le globe *r*.

On relève R_2 pour faire monter encore le mercure en R_1, au-dessus du robinet, et l'on ne vide jamais ce dernier réservoir R_1 que lorsque la pompe a atteint le plus haut degré de vide possible. Cette condition est essentielle pour faire un bon usage de l'appareil. Quand tout est en bon état, on peut achever le vide en un quart d'heure, résultat appréciable pour un simple arrangement de laboratoire. Avec des ampoules de dimension ordinaire, le rapport des capacités est de 1 à 20, ce qui permet d'obtenir des vides très élevés.

Ce qui frappe le plus l'observateur dans le cours de ces expériences est la manière dont se comportent les gaz lorsqu'on les soumet à des efforts électrostatiques alternatifs rapides. La décharge s'y établit avec une facilité qui s'accroît continuellement avec la fréquence. Sous ce rapport, ils se comportent donc d'une manière exactement opposée aux conducteurs métalliques, et comme le ferait une série de condensateurs. S'il en était ainsi dans un tube vide, même de grande longueur, la self-induction ne peut avoir aucun effet appréciable.

Digitized by Google

Si l'on pouvait porter la fréquence à une valeur suffisante, on pourrait réaliser un étrange système de distribution. Des tubes métalliques seraient remplis de gaz : le métal formant l'isolant et le gaz formant le conducteur alimenteraient des globes phosphorescents ou quelque autre appareil encore à créer.

On peut certainement prendre un tore de cuivre creux, y raréfier l'air et, en lançant un courant alternatif de fréquence suffisante dans un conducteur enroulé à l'entour, exciter à l'intérieur l'incandescence du gaz.

Quant à la nature des forces en jeu, elle est tout à fait incertaine, car il est incertain si le cuivre agit comme écran électrostatique avec ces fréquences élevées. Ces paradoxes et ces apparentes impossibilités que l'on rencontre à chaque pas sont un des moindres charmes de cette étude.

J'ai ici un tube court et large, raréfié à un haut degré et recouvert d'une enveloppe de bronze, enveloppe assez épaisse pour que la lumière ne soit que difficilement visible au travers. Une prise de courant est ménagée sur cette enveloppe et je vais maintenant essayer d'illuminer le gaz à l'intérieur. Quiconque ferait cet essai pour la première fois prendrait soin sans doute d'être seul présent, par crainte de la risée des témoins de la tentative. Et cependant le tube s'illumine et la lumière est perceptible au travers du revêtement de bronze. Un long tube, recouvert de bronze d'aluminium et tenu à la main, s'illumine dès qu'on touche de l'autre main une borne de la bobine. On pourrait objecter que le revêtement est trop mince; mais, même très résistant, il devrait former écran. Il le formerait parfaitement pour des actions lentes; mais l'action n'est que très imparfaite pour des variations de charge rapides dans sa propre masse.

Voici une autre expérience propre à montrer combien l'air joue un rôle important dans les décharges rapides, telles que le tonnerre. Je prends un tube court, où l'air est modérément raréfié et qui est traversé de part en part par un fil de platine. Sous l'action d'un courant continu, le fil s'échauffe uniformément et l'air ne remplit, en apparence, aucune fonction. Mais, avec un courant de grande fréquence, le fil est encore échauffé, mais seulement aux extrémités, et l'on pourrait faire une coupure au milieu du fil sans changer en quoi que ce soit le résultat. L'air agit comme conduc-

Digitized by Google

teur sans self-induction, mis en dérivation sur un conducteur qui en aurait beaucoup, et les extrémités du fil sont échauffées par la résistance qu'elles opposent au passage de la décharge. L'expérience réussirait aussi si le gaz était assez raréfié pour n'être pas conducteur; mais alors les électrodes ne pourraient plus être considérées comme électriquement reliées l'une à l'autre par l'intermédiaire du gaz.

Maintenant, ce qui arrive dans notre tube vide est-ce la même chose que ce qui arrive dans le coup de foudre éclatant dans l'air à pression normale? J'ai montré qu'avec des fréquences très élevées l'air à la pression normale se comporte sensiblement comme à une pression moindre; aussi je reste convaincu que le meilleur moyen de détourner la décharge d'un coup de foudre serait de lui offrir un passage à travers un volume de gaz, si cela pouvait être réalisé pratiquement.

Je désire encore vous entretenir sur deux points au sujet de mes expériences : ce sont « l'état radiant » et le « vide impénétrable à l'étincelle ».

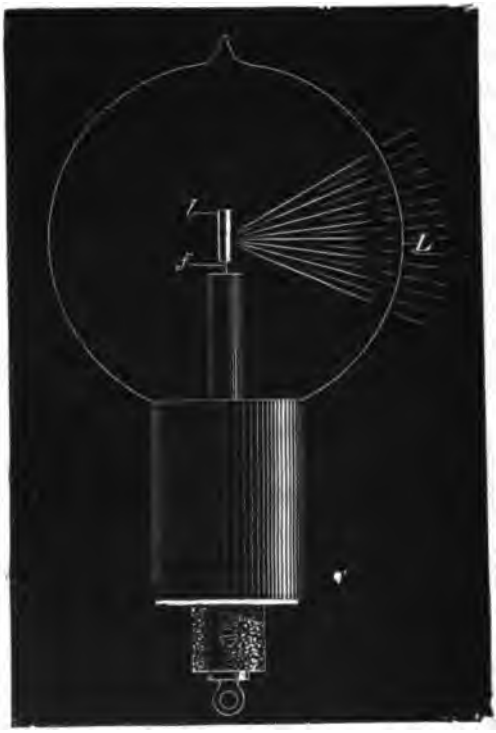
L'étude du travail de Crookes porte à croire que l'état radiant de la matière est une propriété des gaz inséparable d'un degré de raréfaction élevé. Mais il faut bien se rappeler que les phénomènes observés dans une ampoule vide sont limités au caractère et à la capacité de l'appareil employé. Je crois que, dans une ampoule, une molécule ou un atome se meut en ligne droite, moins parce qu'il ne rencontre pas d'obstacle que parce que la vitesse est assez grande pour que le mouvement s'effectue à peu près en ligne droite. La moyenne de libre parcours est une chose; mais la vitesse (l'énergie associée au corps mobile) en est une autre, et je crois que, dans la plupart des cas, c'est la question prépondérante. Une bobine à décharge disruptive, lorsque le potentiel est poussé assez loin, excite la phosphorescence et projette des ombres dans une atmosphère comparativement peu raréfiée. Dans le coup de foudre, la matière se meut en ligne droite, malgré l'extrême petitesse de la moyenne de libre parcours, comme le montrent les images de fils ou autres objets métalliques produites par des particules lancées en ligne droite.

J'ai préparé une ampoule pour montrer par expérience l'exactitude de ces assertions. Dans un globe L (*fig.* 29) est monté, sur

Digitized by Google

un filament de lampe *f*, un morceau de chaux *l*. La construction générale est celle de la *fig.* 17. L'appareil étant attaché au bout d'un fil et la bobine étant en action, la chaux et les parties apparentes du filament sont bombardées. Le degré de vide est celui qui convient pour que le potentiel de la bobine y détermine la phosphorescence; mais celle-ci cesse pour la moindre diminution du vide.

Fig. 29.



La chaux contenant un peu d'humidité que la chaleur en expulse, la phosphorescence ne dure que peu d'instants. La décharge continuant se porte de préférence sur un point particulier de la chaux, d'où s'élance finalement la décharge sous forme d'un flux de très fines particules de chaux. Ce flux est de la matière radiante, et cependant le vide est faible. Mais les particules sont lancées en ligne droite, à cause de leur grande vitesse, et celle-ci est due à ces trois conditions que la densité électrique est grande, que le

Digitized by Google

point d'émergence est très chaud, et enfin que les particules de chaux sont arrachées très facilement, bien plus que celles du charbon. Avec les fréquences que nous pouvons réaliser, il y a arrachement et transport réel de matière; avec des fréquences bien plus élevées, ceci n'arriverait plus, et il n'y aurait qu'une tension qui s'établirait et une vibration qui se propagerait dans l'ampoule.

En ce qui concerne le vide dit *imperméable à l'étincelle,* il faut remarquer qu'il ne l'est que pour les basses fréquences. Cela est dû à l'impossibilité de transporter une quantité suffisante d'énergie; les quelques atomes voisins du pôle sont repoussés après être venus en contact avec lui, et tenus à distance assez grande pour un temps relativement long, de sorte qu'il ne se produit pas un travail suffisant pour produire un effet perceptible à l'œil. Si l'on force le potentiel, le diélectrique cède et se brise. Mais, avec les très hautes fréquences, il n'est pas nécessaire d'aller si loin, une quantité quelconque de travail pouvant être produite par l'agitation des atomes sous une fréquence suffisante.

Une des idées qui se présentent d'elles-mêmes comme corrélatives de l'emploi des courants de grande fréquence est d'utiliser leur puissante faculté d'induction électrodynamique pour produire des effets lumineux dans des ampoules complètement scellées. Le fil de communication qui traverse le verre est un défaut des lampes incandescentes, et ce serait déjà un perfectionnement notable, à défaut de mieux, que de pouvoir s'en passer. Je puis mentionner ici un ou deux dispositifs nouveaux d'appareils étudiés dans ce but. Les *fig.* 30 et 31 indiquent des types d'appareils construits à de nombreux exemplaires. Dans la *fig.* 30, un large tube T est scellé avec un tube U en forme d'M, en verre phosphorescent. Une bobine C est un fil d'aluminium dont les bouts sont armés de petites sphères t, t_1 de même matière. Le tube T étant glissé à l'intérieur d'un primaire où circule la décharge disruptive, une forte phosphorescence est développée dans le tube. Il est nécessaire que T soit rempli de poudre isolante bien tassée pour éviter que les décharges se produisent entre les spires d'aluminium. J'ai rencontré beaucoup de difficultés de ce côté.

La *fig.* 31 montre une autre forme. Le tube T est scellé à un globe L. Les bouts du fil passent dans des tubes de verre t, t_1 scellés à T. Les boutons réfractaires m et m_1 sont montés sur des

Digitized by Google

bouts de filaments de lampe à incandescence soudés eux-mêmes aux fils. Dans ce mode de construction, on laisse généralement communiquer L avec T par l'intermédiaire des tubes *t*. Toujours on remplit ce tube T de poudre isolante. Des tubes d'aluminium *a* sont montés sur les bouts *s* des tubes *t* et t_1. Les deux boutons peuvent être amenés à l'incandescence vive et les plus curieux effets résultent de l'ombre mutuelle qu'ils projettent.

Une autre direction d'études que j'ai suivie assidûment a été l'induction d'une décharge lumineuse ou d'un courant dans un tube vide. Cette question a été étudiée par le professeur J.-J. Thomson avec une habileté telle que je ne pourrais ajouter que bien peu de chose à ce qu'il a fait connaître. Mais, comme les expériences dans cette voie m'ont conduit graduellement aux idées et aux résultats que je vous ai exposés, il est bon d'en dire quelques mots.

Bien des personnes ont dû remarquer que, à mesure qu'on fait plus long le tube vide, la force électromotrice par unité de longueur qui est nécessaire pour y produire une décharge diminue; de telle sorte qu'un tel tube, assez long et fermé sur lui-même, est capable de donner des manifestations lumineuses par induction, même avec de petites fréquences. Un tel tube pourrait être disposé à l'entour d'une salle et former par lui-même un dispositif capable de donner un bon éclairage.

Mais, même en négligeant toutes les difficultés pratiques que cela pourrait présenter, le rendement serait mauvais en raison de la faible fréquence. L'emploi des grandes fréquences et des décharges de condensateur, seul moyen pratique de les obtenir, capables de donner quelques milliers de volts par tour, est indispensable. On ne peut penser à obtenir les hautes tensions par la multiplication des tours de fil; car on reconnaît bientôt que le mieux serait de n'employer qu'une spire induite. Mais on n'a pas longtemps expérimenté dans cette voie sans reconnaître l'importance des effets électrostatiques qui s'accroissent plus vite que les effets électrodynamiques à mesure que la fréquence augmente.

Maintenant, si quelque chose est désirable, c'est d'accroître la fréquence, et, d'un autre côté, il est aisé d'exalter les actions électrostatiques aussi loin qu'on le désire en augmentant les tours secondaires, ou en combinant les capacités et les self-inductions de manière à élever le potentiel. On se rappellera ainsi qu'en ré-

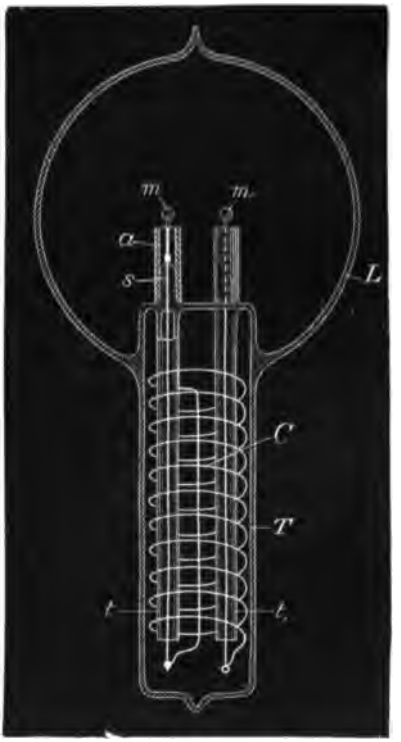
Digitized by Google

duisant le courant et en augmentant le potentiel, on facilite la transmission dans le conducteur.

Ces raisonnements et d'autres analogues m'ont conduit à étudier avec attention les phénomènes électrostatiques et à produire

Fig. 30.

Fig. 31.



des potentiels aussi élevés que possible, alternant avec la plus grande rapidité possible. J'ai ainsi trouvé qu'il était possible d'allumer les tubes vides à une grande distance du conducteur et que je pouvais, en transformant le courant oscillatoire de décharge d'un condensateur en un autre de potentiel plus élevé, établir des champs électrostatiques alternatifs, dans lesquels un tube pouvait s'illuminer, quelle que fût sa position dans l'espace.

Digitized by Google

J'ai pensé que c'était là un pas en avant et j'ai persévéré dans cette voie, mais je désire ajouter que je partage avec tous les vrais amis de la Science un seul et unique désir, celui d'atteindre un résultat utile à l'humanité, dans quelque direction que le raisonnement et l'expérience puisse me conduire. Je crois que mon point de départ est exact, car je ne puis voir, après l'observation des phénomènes auxquels donne lieu l'accroissement de la fréquence, ce qui pourrait bien exister et déterminer l'action entre deux circuits parcourus par des courants de quelques millions de renversements par seconde, si ce n'est des forces électrostatiques. Avec ces fréquences extrêmes, l'énergie serait pratiquement tout potentiel, et ma conviction s'est faite profonde sur ce point que, à quelque genre de mouvement que la lumière soit due, il est produit par des efforts électrostatiques énormes vibrant avec une excessive rapidité.

De tous les phénomènes observés avec les courants ou actions électriques de grande fréquence, les plus fascinants pour un auditoire sont ceux qu'on peut obtenir dans un champ électrostatique agissant à grande distance, et ce que peut faire de mieux le conférencier inexpérimenté est de commencer ou de finir par ces expériences. Je prends un tube à la main, je le déplace, et, quelque position qu'il occupe, il s'éclaire. Une force invisible agit dans tout l'espace. Je puis en prendre un autre et il ne s'illumine pas parce que le vide y est très élevé. Mais je l'excite avec une décharge disruptive, et maintenant il brille dans le champ électrostatique. Je puis le laisser de côté des mois ou des semaines, et il conserve cette excitabilité. Quel changement dans le tube par cette action excitante? Si c'est un mouvement imprimé aux atomes, on ne peut guère s'expliquer comment il n'est pas rapidement amorti par les frottements intérieurs. Si c'est seulement aux tensions du diélectrique, sa persistance est plus aisée à comprendre, mais il est difficile de s'expliquer pourquoi cette condition aide à l'excitation lorsque nous travaillons avec des potentiels alternant rapidement.

Depuis que j'ai montré pour la première fois ces phénomènes, j'ai obtenu quelques résultats nouveaux. Entre autres, j'ai réussi à produire l'incandescence d'un bouton, filament ou fil enfermé dans le tube. Pour cela, il faut économiser l'énergie du champ et en diriger la plus grande partie sur le corps en expérience. Bien

Digitized by Google

que cela parût difficile à première vue, l'expérience préalablement acquise m'a permis d'y parvenir aisément. Les *fig.* 32 et 33 montrent deux tubes préparés pour cela.

Dans la *fig.* 32, un court tube T_1, scellé à un autre plus long T, est pourvu d'une tige ou queue *s* et d'un fil *w*. Un filament de lampe très fin *l* est attaché au fil. C et C_1 sont des armatures condensantes, et le tube T_1 est rempli de poudre conductrice au droit des armatures, mais isolante ailleurs. Ces armatures sont principalement destinées à faire deux expériences avec ce tube; savoir, de produire l'effet désiré soit par connexion directe du corps de l'expérimentateur avec le fil *w*, soit par action inductive à travers le verre.

Quelque position que l'on donne au tube tenu dans le champ électrostatique, le filament est porté à l'incandescence.

Un autre appareil plus intéressant est celui de la *fig.* 33. La construction en est analogue, sauf qu'un fil fin de platine *p*, en connexion avec une armature intérieure C par le fil *w*, traverse la queue *s* et vient s'enrouler, en forme de cercle, un peu au-dessus. En *s'* traverse un autre fil appointi et supportant un très léger moulinet *v* à ailes de mica. Un fil de verre *g*, convenablement recourbé, l'empêche de s'échapper de la pointe. En quelque point du champ que l'on présente le tube, le fil de platine devient incandescent et le moulinet tourne avec une grande vitesse.

Une phosphorescence intense peut être excitée dans une ampoule simplement reliée à une plaque métallique qui n'a pas besoin d'être plus grande que l'abat-jour de l'appareil. Cette phosphorescence est très intense et particulièrement brillante avec les sulfures de calcium ou de zinc.

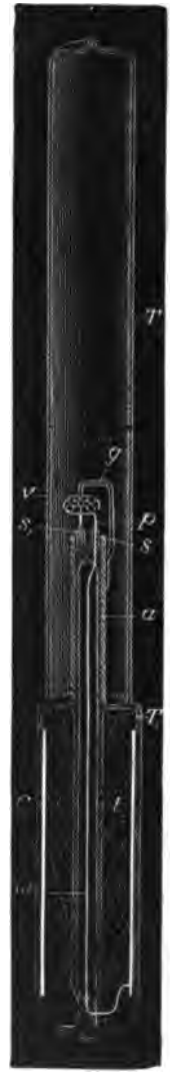
A quelque résultat que ces recherches puissent conduire, leur principal intérêt, pour le moment, réside dans les possibilités qu'elles offrent de produire un mode efficace d'éclairage artificiel. Dans aucune branche d'industrie, le progrès n'est plus nécessaire que dans celle de l'éclairage. Tout penseur, en considérant la barbarie des méthodes employées, les pertes déplorables auxquelles donne lieu le meilleur système d'éclairage, doit se demander : Que sera probablement la lumière de l'avenir? Sera-ce un solide incandescent, ou un gaz incandescent, ou un corps phosphorescent, ou quelque chose comme un brûleur, mais d'un bien meilleur rendement?

Digitized by Google

Il y a peu de chance de perfectionner le brûleur à gaz, non peut-être parce que voilà des siècles que l'intelligence humaine

Fig. 32.

Fig. 33.



s'attaque sans grand succès à ce problème (bien que cet argument ne soit pas sans force), mais bien parce que dans ce brûleur on ne peut arriver aux hautes vibrations sans passer par les plus lentes.

Digitized by Google

La seule probabilité d'amélioration est dans les tentatives d'obtenir de plus hauts degrés d'incandescence, c'est-à-dire des vibrations plus rapides; on a fait quelques progrès dans cette voie, mais bien des raisons tendent à les limiter. Rejetant donc le brûleur, il ne reste que les trois autres modes mentionnés en première ligne et qui sont tous essentiellement électriques.

Supposons donc que la lumière de l'avenir soit produite par un solide incandescent. Ne semble-t-il pas qu'un bouton est préférable à un frêle filament? Le premier doit certainement être capable d'une meilleure économie, en supposant surmontées les difficultés de fabrication, bien entendu. Mais une telle lampe réclame un haut potentiel qui, lui-même, ne peut être obtenu économiquement qu'à l'aide des grandes fréquences.

Les mêmes considérations s'appliquent mieux encore à l'incandescence des gaz ou à la phosphorescence. Toujours il faut les hauts potentiels et la grande fréquence, ainsi que je l'ai reconnu depuis longtemps. Incidemment, nous gagnons encore quelques avantages avec les hautes fréquences, telles que la possibilité de travailler à fil unique, de supprimer le fil qui traverse le verre, d'obtenir un meilleur rendement en lumière.

Mais cette question se pose alors : jusqu'à quel point peut-on pousser la fréquence? Les conducteurs ordinaires perdent rapidement leur capacité de transmission à mesure qu'elle augmente; et quand même nous posséderions les moyens les plus parfaits de les produire, il faudrait encore se proposer de les transmettre. Il faut se rappeler qu'on a affaire, pour cette transmission, à une *pression* et à un *débit* dans le sens général de ces termes. En élevant la pression à une valeur énorme et diminuant le débit en proportion, ces impulsions, qui ne sont guère que des variations de pression, peuvent alors être transmises par des fils, même à la fréquence de quelques centaines de millions par seconde. Mais dans un fil plongé dans un milieu gazeux, quelle que soit l'épaisseur de son isolation, la plupart de l'énergie se dissiperait en bombardement moléculaire le long du fil. Le bout voisin de la source serait échauffé et il n'arriverait à l'autre qu'une quantité infime de l'énergie fournie. La première chose nécessaire est donc de trouver les moyens de combattre cette dissipation.

La première idée est d'employer un fil très fin recouvert d'un

Digitized by Google

isolant très épais; la seconde consiste à employer un écran électrostatique. On peut donc recouvrir l'isolant d'une mince armature que l'on relie au sol à travers un conducteur doué d'une très grande indépendance ou un condensateur de très faible capacité, afin d'éviter que toute l'énergie soit transmise au sol. Mais ceci ne résout pas les autres difficultés.

En effet, si la longueur d'onde de l'impulsion électrique est beaucoup plus courte que la longueur du fil, des ondes de longueurs comparables prendront naissance dans l'armature et il en sera encore à peu près de même que si elle était reliée au sol. Il faut alors découper l'armature en sections beaucoup plus courtes que la longueur d'onde. Un tel arrangement ne forme pas encore un écran parfait, mais il est mille fois meilleur que rien. Je crois préférable de diviser l'armature en petites sections, même si la longueur d'onde est bien plus grande que la longueur de l'armature.

Si un fil était recouvert d'un écran parfait, il se comporterait comme infiniment éloigné de tous les objets. Sa capacité serait réduite à celle du fil même, qui est très petite; et il serait possible de lui faire transmettre des vibrations très fréquentes à des distances énormes, sans en altérer beaucoup le caractère. Un écran parfait n'existe pas; mais je crois qu'avec un arrangement analogue à celui que je viens de décrire, il serait possible de téléphoner à travers l'Atlantique. Suivant mon idée, le condensateur recouvert de gutta-percha devrait être recouvert d'une armature mince subdivisée en sections, et sur celle-ci serait encore une couche de gutta-percha ou autre isolant, sur laquelle serait placée l'armature.

Mon but principal, en présentant ces résultats, a été de mettre en relief des phénomènes nouveaux, et d'avancer des idées qui, je l'espère, serviront de point de départ à de nouvelles recherches. J'ai désiré surtout, ce soir, vous présenter quelques nouvelles expériences. Les applaudissements que vous avez bien voulu m'accorder m'ont montré que j'avais réussi.

Digitized by Google

SÉANCE DU 4 MARS 1892.

PRÉSIDENCE DE M. FRIEDEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 18 février est adopté.

M. le PRÉSIDENT annonce à la Société la perte douloureuse qu'elle vient de faire en l'un de ses Membres, M. *de Branville*, ingénieur-électricien.

M. CORNU, en déposant sur le Bureau l'Ouvrage de M. John Gray « Sur les Machines électriques à influence », traduit et annoté par M. *Georges Pellissier*, en fait un grand éloge.

M. LE CHATELIER s'est proposé d'établir un pyromètre optique qui pût convenir pour les besoins industriels, c'est-à-dire qui fût à la fois très simple et très précis. Après avoir passé en revue les tentatives faites dans la même voie par Pouillet, Edmond Becquerel, M. Violle, M. Crova, MM. Nouel et Mesuré, il établit qu'un pyromètre semblable doit nécessairement utiliser la mesure de l'intensité absolue d'une radiation déterminée. La détermination de l'intensité relative de deux radiations différentes ne comporte aucune précision.

Pour un semblable usage le photomètre de M. Cornu convient parfaitement; il faut seulement le simplifier de façon à en faire un appareil portatif qui puisse être tenu à la main. La plus grande difficulté qui s'est présentée dans l'établissement de ce pyromètre est résultée de l'impossibilité de trouver dans le commerce des verres absorbants convenables pour les mesures photométriques. Cette difficulté a été levée par M. Appert, qui est parvenu à fabriquer un verre absorbant qui n'altère pas la nuance des radiations rouges utilisées pour les mesures.

Des expériences préliminaires faites sur les pouvoirs émissifs ont montré que le fer oxydé comme le carbone a un pouvoir émissif égal à l'unité, de sorte que son éclat est indépendant de la température de l'enceinte.

La graduation de ce pyromètre optique a été faite pour différents corps en se servant de couples thermo-électriques. Les résultats obtenus pour le fer oxydé ont été :

$t = 690°$	860°	1080°	1270°	1495°	1775°
$I = 0,00032$	0,01	0,19	1,17	6,16	31,0

Des mesures de températures ont été faites par cette méthode dans différentes usines. Voici quelques résultats obtenus dans une usine à fer.

Haut fourneau devant la tuyère.....	1900°
Coulée de la fonte du haut fourneau.....	1400 à 1560

Digitized by Google

Coulée de la fonte dans la cornue Bessemer		1230°
Coulée de l'acier Bessemer dans la poche		1630
Coulée de la poche dans les moules	1000 à	1500
Lingot allant au laminoir		1195
Lingot retournant au réchauffage		1110
Lingot revenant du réchauffage		1250
Rail terminé		1050

La température exagérée de 2000° avait été attribuée par Langley à la flamme du Bessemer, parce qu'il avait cru y voir fondre le platine; en réalité ce métal est simplement dissous par les gouttelettes d'acier fondu qui viennent le frapper.

Méthode téléphonique pour l'étude de la propagation des ondes électriques, par M. Colson. — Dans toute propagation ondulatoire, la vitesse V, la longueur d'onde A et le nombre N d'ondulations par seconde sont reliés par la formule $V = NA$. Pour déterminer V, il faut connaître N et A. Dans les expériences de Hertz, on peut mesurer A, mais N échappe, par sa très grande valeur, à l'observation; on le calcule au moyen de formules approchées plus ou moins justifiées. M. le capitaine Colson a cherché à réduire N de façon à le mesurer par les procédés précis de l'acoustique; il faut en même temps réduire V pour que A ne devienne pas trop grand à son tour. Ce résultat est obtenu par une augmentation de la résistance du conducteur.

Un flux électrique est lancé par une bobine Ruhmkorff dans un fil médiocrement conducteur, tel qu'une ficelle mouillée. En tenant à la main l'enveloppe isolante du câble souple d'un téléphone, ce qui étouffe les effets d'induction, et en promenant l'extrémité nue d'un des deux brins le long et au contact de la ficelle, l'extrémité de l'autre brin étant isolée, on constate que l'intensité du son dans le téléphone subit des chutes plus rapides en certaines régions qui se rapprochent entre elles et de l'origine au fur et à mesure que la ficelle sèche; de plus, le timbre varie le long de la ficelle. Le téléphone fonctionne par variation de charge.

Pour apprécier la valeur de l'intensité du flux en chaque point du conducteur, on fait glisser le long de celui-ci l'extrémité d'un fil de cuivre, qui est horizontal, perpendiculaire au conducteur, et dont l'autre extrémité est isolée. Cette dérivation ouverte n'altère pas le régime dans le conducteur. L'opérateur, appliquant le téléphone à l'oreille, laisse pendre librement le câble souple, et approche celui-ci du milieu de la dérivation jusqu'à ce qu'il entende le son naître dans le téléphone. La dérivation a une longueur de $1^m,60$, indiquée, par l'expérience, comme suffisante pour produire l'effet d'un fil indéfini. L'effet d'induction statique exercé sur la partie utile des deux brins du câble est alors en raison inverse de la distance. Si I est l'intensité caractérisée par cet effet à l'unité de distance.

Digitized by Google

et y la distance pour laquelle le son naît, l'expression $\frac{1}{y}$ représente l'intensité correspondante au son naissant, et est constante dans les mêmes conditions de pouvoir inducteur de téléphone, et d'observateur. La variation de l'intensité du flux le long du conducteur est donc représentée par la courbe des y, pour les différentes valeurs de x, à un facteur constant près.

Avec des fils assez longs pour ne plus impressionner le téléphone à leur extrémité, on obtient des courbes en cascade; la distance des chutes augmente avec la conductibilité, et aussi, sur une même courbe, avec la distance à l'origine. Ce fait peut s'expliquer par l'interférence du flux direct et du flux inverse de la bobine, l'un étant plus rapide et se ralentissant plus vite que l'autre. Il en résulte entre les deux longueurs d'onde Λ, λ et l'écart d de deux chutes successives, la relation

$$\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{d}$$

qui donne λ quand on connaît Λ et d.

On peut amortir le flux inverse en introduisant une étincelle entre le conducteur et la bobine; les cascades tendent alors à disparaître, et la courbe devient de la forme $y = y_0 e^{-\alpha x}$.

Si le fil est bon conducteur, on supprime la réflexion en le prolongeant par une ficelle à glycérine qui absorbe les flux. On peut ainsi opérer sur des fils métalliques; on mesure alors la distance du câble au conducteur lui-même. Avec un fil de cuivre de $0^{mm},04$ de diamètre, cette distance diminue du quart de sa valeur sur une longueur de 10^m, près de l'origine. On sait que le potentiel varie aussi suivant la loi $y = y_0 e^{-\alpha x}$, α étant fonction des conductibilités intérieure et extérieure.

Si l'on opère sur des fils courts, on obtient les maxima et minima indiquant des longueurs d'onde bien nettes, dues à la réflexion. Par exemple, avec un fil de coton imprégné d'une dissolution de chlorure de calcium, on obtient en chiffres ronds, pour Λ du flux prépondérant, et pour V calculé à raison de N = 130, les valeurs suivantes :

	1 brin.	2 brins.	4 brins.	6 brins.	8 brins.	16 brins.
Λ	3^{cm}	6^{cm}	12^{cm}	18^{cm}	21^{cm}	32^{cm}
V	4^m	8^m	16^m	23^m	27^m	42^m

Cette méthode nouvelle permet donc de déterminer non seulement les vitesses, mais encore les autres éléments de la propagation des ondes électriques.

Des Tableaux montrent des exemples de courbes obtenues avec des fils longs et avec des fils courts imprégnés de différents liquides.

Digitized by Google

Sur la mesure optique des températures élevées;

Par M. H. Le Chatelier.

Un procédé de mesure qui permettrait de déterminer les températures élevées d'une façon à la fois simple et précise serait pour certaines industries d'une utilité incontestable. Dans la trempe de l'acier, la cuisson de la porcelaine, la fabrication du chlore par le procédé Deacon, un écart de température de 20° seulement suffit pour occasionner des insuccès complets. Aussi depuis que j'ai indiqué dans quelles conditions les couples thermo-électriques, dont l'emploi avait été proposé en 1826 par Becquerel, mais n'avait pas donné jusqu'ici des résultats satisfaisants, pouvaient servir à mesurer avec précision les températures élevées, l'usage de ces pyromètres électriques s'est rapidement répandu dans l'industrie. On ne peut méconnaître cependant que des instruments délicats comme le sont nécessairement les appareils électriques ne conviennent guère pour être mis en main des ouvriers.

J'ai été sollicité de différents côtés de reprendre cette question en me plaçant plus spécialement au point de vue des besoins industriels; telle est l'origine des nouvelles recherches que j'ai entreprises sur la Pyrométrie.

Une revision rapide des divers procédés qui peuvent servir à la mesure des températures élevées montre immédiatement que les procédés optiques seuls peuvent donner une solution satisfaisante du problème au point de vue industriel. Ils dispensent en effet de l'emploi de corps thermométriques spéciaux dont aucun ne peut résister longtemps aux températures élevées réalisées dans certains foyers. Ils n'exigent pas, entre le four et l'opérateur de connexion matérielle toujours difficile à établir dans une usine où les ouvriers et les appareils circulent en tous sens, parfois avec une grande rapidité.

L'intensité des radiations lumineuses émises par les corps incandescents croît avec la température, leur *éclat* augmente. Cette intensité croît inégalement pour les radiations de longueurs d'ordres différents; la *nuance* des corps varie donc aussi avec la température. On peut, des mesures d'éclat ou des mesures de

Digitized by Google

nuance, chercher à déduire une estimation de la température.

Pouillet, en 1836, a dressé une Table des températures correspondant à ces différents éclats et à ces différentes nuances qu'il appréciait à la vue simple. Cette Table, aussi exacte qu'elle peut l'être avec un procédé aussi rudimentaire de mesures optiques, est encore en usage aujourd'hui.

Ed. Becquerel, en 1864, à la suite de ses recherches sur l'irradiation des corps incandescents, a énoncé la possibilité de se faire une idée des températures élevées au moyen de mesures photométriques de l'intensité lumineuse des radiations rouges émises par les corps incandescents. Il a cherché à faire l'application de cette méthode à la détermination du point de fusion du palladium et du platine, de la température de la chaux exposée à la flamme du mélange oxhydrique et de la température du charbon de l'arc voltaïque. Mais cette tentative n'a pas abouti, en raison de l'insuffisance des procédés de mesure de température dont il disposait, et du peu d'élasticité de la méthode photométrique employée, qui n'a permis de faire porter les expériences que sur un intervalle de température de 250°.

Depuis, la mise en œuvre de cette méthode pyrométrique n'a plus été tentée. M. Violle a cependant fait faire un pas important à la question en démontrant l'inexactitude de la loi du rayonnement de Dulong que les expériences de Ed. Becquerel semblaient confirmer.

M. Crova, en 1879, a tenté d'obtenir la détermination des températures élevées par des mesures de la variation relative de l'intensité de radiations différentes (rouge et verte); mais cette tentative a échoué en raison de son manque de précision et de la complexité trop grande des appareils.

Aujourd'hui encore on n'utilise les radiations des corps incandescents que par le procédé de Pouillet ou des procédés analogues, c'est-à-dire en estimant l'intensité ou plutôt la nuance des radiations soit à la vue simple, soit en aidant l'œil par un verre de cobalt, ou un quartz entre deux nicols (lunette Nouel et Mesuré), qui, en interceptant les radiations de réfrangibilité moyenne, exagèrent la variation de nuance des corps incandescents. Ces procédés permettent à quelques ouvriers et contremaîtres très expérimentés d'obtenir des résultats assez satisfaisants, mais ils exposent les observateurs

Digitized by Google

qui n'ont pas fait un apprentissage longtemps prolongé à des erreurs de plusieurs centaines de degrés.

Pour obtenir un pyromètre réellement pratique, il faut compléter l'œil par l'adjonction d'un appareil de mesure qui soit très précis tout en restant suffisamment simple et ne demande pas, pour son emploi, un apprentissage longtemps prolongé. Tel est le problème dont j'ai cherché la solution.

La mesure des variations de nuance, c'est-à-dire des variations inégales d'intensité de radiations différentes, ne peut, comme il est aisé de s'en rendre compte, conduire à aucun résultat précis, parce que le phénomène mesuré éprouve des changements trop peu supérieurs aux erreurs d'observation. D'après M. Violle, le rapport des intensités des radiations $\lambda = 656$ (rouge) et $\lambda = 482$ (bleu) varie dans le rapport de 1 à 4,5 pour un intervalle de température de 700°. Or, l'incertitude sur les mesures de ce rapport ne peut pas être pratiquement inférieure à 10 pour 100, ce qui entraînerait déjà une erreur de 50°, sans tenir compte d'autres causes d'erreurs également importantes qui sont inhérentes à ce mode d'observation.

La variation absolue d'intensité de radiations de longueur d'onde déterminée, des radiations rouges par exemple, atteint au contraire pour le même intervalle de température de 700° entre 1000° et 1700° le rapport de 1 à 300. Elle s'élève entre 600° et 1800° de 1 à 1 000 000. On conçoit donc toute la sensibilité que peut présenter une méthode pyrométrique basée sur la mesure absolue des radiations. Si, depuis Ed. Becquerel, on ne s'est plus préoccupé de cette méthode, cela tient, sans doute, à des défauts qui doivent certainement être pris en considération au point de vue théorique, mais qui n'ont pas, dans la pratique, l'importance que l'on pouvait redouter. Ces critiques ont été formulées avec beaucoup de netteté par M. Crova; elles sont la conséquence immédiate des travaux de Kirchhoff sur la radiation. Ce savant a établi que les radiations émises par un corps incandescent ne dépendent pas seulement de sa température, mais aussi de sa nature, de l'état de sa surface et surtout, ce que l'on oublie trop souvent, de la température de l'enceinte qui l'environne. Il n'y a que les corps *noirs,* c'est-à-dire les corps dont le pouvoir absorbant et par suite aussi le pouvoir émissif est maximum, pour lesquels l'éclat

Digitized by Google

ne dépend que de la température. Or, il se trouve, ainsi que je l'établirai plus loin, que le fer oxydé, le plus intéressant des produits industriels et le plus intéressé aux mesures pyrométriques, est un semblable corps noir.

J'ai eu à me préoccuper au cours de ces recherches :

1° De la méthode photométrique;
2° Des pouvoirs émissifs;
3° De la loi du rayonnement des corps incandescents.

Je donnerai en finissant les résultats que j'ai obtenus dans différentes usines, soit avec le pyromètre optique, soit antérieurement avec le pyromètre thermo-électrique.

Photomètre. — Les nécessités de l'emploi industriel exigent que l'on procède par comparaison directe entre l'image de l'objet étudié et celle d'une source de lumière employée comme repère fixe. Les spectro-photomètres, dont l'installation est longue et délicate, sont nécessairement condamnés : ils ne permettraient jamais l'observation de phénomènes aussi fugitifs que la coulée de l'acier, le déplacement d'un rail au laminage.

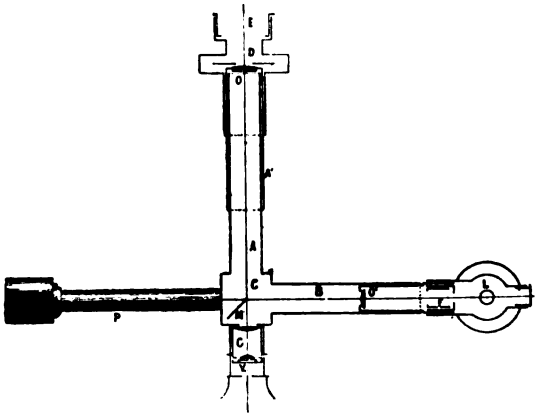
Pour ramener à l'égalité des intensités lumineuses qui peuvent varier dans le rapport de 1 à 1000000, on ne peut songer à un autre procédé que l'emploi de verres absorbants superposés en plus ou moins grand nombre. Pour les variations intermédiaires à l'intervalle de deux verres consécutifs, on peut se servir de prismes de Nicol ou d'un diaphragme œil-de-chat. Le second procédé seul m'a paru suffisamment exact et pratique. La difficulté du réglage et la facile détérioration des prismes de Nicol, la polarisation partielle de la lumière émise par les corps incandescents sont autant de motifs dont chacun d'eux suffirait pour faire proscrire l'emploi des polariseurs.

Enfin il est indispensable d'opérer pour ces comparaisons sur des radiations monochromatiques; ces radiations doivent être rouges parce que les seuls verres monochromatiques sont de cette nuance; les radiations rouges ont d'autre part l'avantage d'être les premières qui se développent dans les corps incandescents; leur emploi permet donc de faire porter les mesures sur le plus grand intervalle possible de température.

Digitized by Google

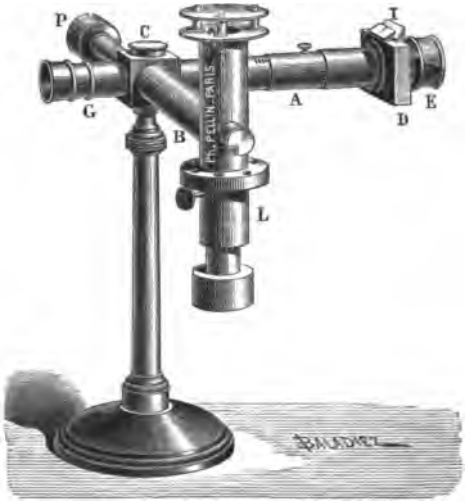
Ces diverses dispositions, qui paraissent s'imposer pour un photomètre pyrométrique, se trouvent réalisées dans le photomètre

Fig. 1.



de M. Cornu; je n'ai donc eu qu'à prendre cet instrument en en modifiant seulement la forme extérieure pour l'adapter aux besoins des usines (¹).

Fig. 2.



Le microscope qui sert dans l'appareil de M. Cornu à viser les

(¹) Cet appareil a été construit par M. Ph. Pellin.

Digitized by Google

images du corps incandescent et de la source de lumière a été remplacé par un simple oculaire G. La lampe à pétrole indépendante a été remplacée par une petite lampe portative L à essence qui est attachée à l'appareil et est entourée d'une enveloppe qui la préserve contre les courants d'air. Le photomètre constitue ainsi une lunette portative qui peut à volonté être tenue à la main ou portée par un pied.

Des difficultés sérieuses se sont présentées tant pour le choix du verre rouge V placé devant l'oculaire G, que pour celui des verres absorbants foncés E placés devant l'œil-de-chat D. Il y a peu de verres rouges qui, pour des mesures portant sur des lumières très différentes, soient suffisamment monochromatiques sans être en même temps trop foncés pour permettre de bonnes mesures photométriques. J'ai réussi cependant à en trouver de convenables parmi les verres rouges qui sont employés dans les lanternes photographiques.

Pour les verres absorbants foncés, il m'a été impossible d'en trouver dans le commerce, qui n'altèrent pas considérablement la nuance des radiations rouges transmises. Ce défaut m'a paru tenir à la présence dans ces verres de cobalt ou d'un trop grand excès de manganèse. Je ne serais pas arrivé à triompher de cette difficulté capitale sans le gracieux concours de M. Appert, qui a bien voulu essayer, d'après les indications que je lui ai données, une série de composition de verres différents et a réussi à en trouver une qui donne d'excellents résultats. Les oxydes colorants sont un mélange d'oxyde de fer et d'oxyde de cuivre avec une petite quantité d'oxyde de manganèse et de nickel.

Pour exprimer les intensités lumineuses, il faut adopter, comme unité, un étalon défini de lumière facile à employer et à reproduire. La lampe Carcel est d'un usage bien compliqué pour les usines et sa flamme présente un éclat très irrégulier d'un point à l'autre. Je me suis servi de la petite lampe étalon à l'acétate d'amyle que j'ai adoptée sur la foi de ce que j'en avais lu dans les livres, mais, pratiquement, c'est un étalon détestable. Dans les laboratoires, réglé avec un soin extrême, il donne peut-être des résultats satisfaisants ; employé sans précautions spéciales, il ne peut fournir qu'une intensité très irrégulière ; la lampe en métal se couvre rapidement de vert-de-gris, la mèche s'imprègne de sel de cuivre et ne laisse

Digitized by Google

plus monter le liquide; enfin, il faut préparer soi-même l'acétate pour être certain de sa pureté. Pour des expériences industrielles, une bougie ordinaire ou une petite lampe à l'essence de pétrole donne une intensité lumineuse bien plus constante. J'ai pris dans mes expériences, comme point de visée, la partie la plus lumineuse de la région axiale, laissant de côté le voisinage des bords près desquels l'intensité varie rapidement.

J'ai obtenu ainsi pour différentes sources lumineuses, qui pourront servir d'étalons auxiliaires, les résultats suivants :

Acétate d'amyle. Bougie stéarique. Bougie de gaz.	Lampe Pigeon à essence de pétrole.	Lampe Carcel.	Becs de gaz Bengel, Sugg.	Platine fondant dans une flamme oxhydrique.
1	1,10	1,9	0,74	15

Le résultat relatif au platine est un peu incertain, par suite de l'éclat propre de la flamme du chalumeau oxhydrique que j'employais.

Mesures d'intensité. — Pour faire avec ce photomètre une mesure d'intensité, on procède de la façon suivante :

On doit commencer, si besoin est, par régler le miroir au moyen des trois vis calantes, de façon que le faisceau lumineux provenant de la lampe et réfléchi par le miroir et celui venant directement de l'objet visé pénètrent intégralement dans l'œil. Cette condition est remplie si les images données par l'oculaire des deux objectifs se superposent entre elles et sont situées sur l'axe de la lunette. On le vérifie en visant avec une loupe ces deux images qui se forment un peu en arrière de l'anneau oculaire. Il faut, bien entendu, pour rendre visibles les deux objectifs, les éclairer, l'un avec la lampe, l'autre avec une source lumineuse quelconque. Si la superposition n'existe pas, on la rétablit au moyen des vis qui fixent le miroir. L'appareil doit, s'il ne reçoit pas de chocs, rester indéfiniment réglé.

La lampe de comparaison du photomètre doit, pour donner des indications constantes, avoir une hauteur de flamme régulière, par exemple égale à la hauteur de la fenêtre rectangulaire placée en avant de la lampe. Son image doit être exactement coupée en deux par l'arête du miroir, résultat que l'on obtient en faisant

Digitized by Google

tourner la lampe dans sa monture où elle est excentrée. Enfin, il faut, avant de faire une mesure, attendre une dizaine de minutes que la lampe ait pris son échauffement normal ; c'est alors seulement que la flamme présente un éclat constant.

Pour faire une mesure, on vise avec la lunette l'objet lumineux, de façon que son image soit coupée par l'arête du miroir et soit amenée ainsi en contact avec l'image de la flamme. On fait, avec le bouton inférieur, varier l'ouverture de l'œil-de-chat jusqu'à ce que l'égalité d'intensité des deux images soit obtenue.

Soit n le nombre de divisions donnant l'ouverture de l'œil-de-chat à ce moment; soit n' le nombre correspondant en visant la flamme de la lampe étalon à l'acétate d'amyle, l'intensité mesurée sera

$$I = \left(\frac{n'}{n}\right)^2,$$

c'est-à-dire égale au rapport inverse de l'ouverture superficielle de l'œil-de-chat.

Si, ce qui est le cas général, les objets visés ne sont pas à la même distance et exigent une mise au point différente, on aura, en appelant f et f' les distances focales des images de l'objet et de la lampe étalon

$$I = \left(\frac{n'}{n}\right)^2 \left(\frac{f}{f'}\right)^2.$$

Enfin, si l'on a besoin de se servir pour compléter l'œil-de-chat de verres foncés absorbants, il faudra commencer par déterminer leur coefficient d'absorption. Pour cela, on visera un objet d'intensité appropriée en interposant ou non le verre foncé devant l'œil-de-chat. Soit N l'ouverture de l'œil-de-chat sans verre foncé et N' avec un semblable verre. Le coefficient d'absorption K du verre sera

$$K = \left(\frac{N'}{N}\right)^2.$$

Dans une mesure faite avec p verres devant l'œil-de-chat, l'intensité sera

$$I = \left(\frac{n'}{n}\right)^2 \left(\frac{f}{f'}\right)^2 \left(\frac{1}{K}\right)^p.$$

S'il s'agit au contraire d'un objet peu lumineux et que les verres

Digitized by Google

doivent être placés devant la lampe (dans la monture qui porte la fenêtre rectangulaire), l'intensité sera donnée par la formule

$$I = \left(\frac{n'}{n}\right)^2 \left(\frac{f}{f'}\right)^2 K p.$$

Lorsque l'on veut viser des objets très petits, il y a intérêt, pour avoir une image suffisamment large, à se placer très près; dans ce cas, on dispose en avant de l'œil-de-chat, sur la monture des verres foncés, une seconde lentille semblable à l'objectif du photomètre. On peut alors en mettant l'objet visé à son foyer principal, obtenir dans le photomètre une image en vraie grandeur. C'est ainsi que j'ai procédé dans toutes les expériences de graduation qui seront rapportées plus loin. Cette lentille supplémentaire absorbe environ 10 pour 100 de l'intensité lumineuse.

Pouvoirs émissifs. — Avant de chercher à établir la graduation d'un semblable pyromètre optique, c'est-à-dire la relation qui existe entre l'intensité de la radiation des corps incandescents et leur température, il est indispensable d'étudier leurs pouvoirs émissifs. Le pouvoir émissif est le rapport de l'intensité des radiations émises par un corps incandescent dans une enceinte froide à celle des radiations émises par le même corps placé au milieu d'une enceinte de même température et aperçu par une ouverture infiniment petite percée dans cette enceinte. J'ai essayé d'abord de déterminer ce rapport en mesurant l'éclat d'une soudure de couple thermo-électrique recouvert de corps différents et chauffé soit dans la flamme d'un bec Bunsen, soit au milieu d'un tube de terre chauffé par l'extérieur. Le bec Bunsen, en raison de la transparence de sa flamme pour les radiations lumineuses, réalise le cas de l'enceinte froide; mais cette méthode ne donne aucun résultat précis, parce que la plus légère incertitude sur la mesure des températures entraîne de très grandes variations dans les intensités lumineuses à comparer. En outre, il est impossible de réaliser au laboratoire des enceintes à température rigoureusement uniforme; les inégalités de température entraînent pour les corps à faible pouvoir émissif, et partant à fort pouvoir diffusant, des variations considérables d'éclat. Voici, par exemple, des résultats obtenus dans un tube en terre à la température de 800° :

Digitized by Google

Corps rayonnants.	Intensités lumineuses.
Fe^3O^4	1
Pd	1,32
Ag	1,9

Les éclats de ces trois corps ont donc varié du simple au double et, contrairement à ce que l'on pourrait supposer par un examen trop rapide, c'est un corps à faible pouvoir émissif, l'argent, qui a le plus grand éclat. Cela indique simplement qu'il était éclairé par des parties de l'enceinte plus chaudes que lui.

Dans le même ordre d'idées, un petit morceau de platine fondant m'a donné sensiblement le même éclat, chauffé à l'air libre ou dans un tube en chaux. Pour expliquer ce résultat, il suffit d'admettre que l'enceinte en chaux a une température de 300° inférieure à celle du platine. Cela est parfaitement admissible en raison du refroidissement extérieur de l'enveloppe. Pour mesurer les pouvoirs émissifs, j'ai utilisé la remarque suivante de Kirchhoff. L'intérieur des fissures d'un corps peut être considéré comme renfermé dans une enveloppe de température uniforme, sous la réserve, bien entendu, que l'ouverture des fissures soit assez petite. Le pouvoir émissif d'un corps est donc, à la température considérée, égal au rapport de l'intensité lumineuse de la surface à celle du fond des fissures profondes.

Pour faire ces mesures de pouvoir émissif, j'ai employé des petites sphères ou des petits cylindres de 5^{mm} de diamètre perforés, suivant un diamètre, d'un trou de 1^{mm} de diamètre et 4^{mm} de profondeur.

J'ai obtenu les résultats suivants pour les radiations rouges au voisinage de 1300°.

Corps.	Pouvoir émissif.
Fe^3O^4, C	1
Pd	0,6
Pt mat	0,4
Pt poli, argile blanche	0,25
MgO	0,1

Ces nombres montrent que l'on peut, pour le fer rouge, toujours oxydé à sa surface, considérer le pouvoir émissif comme égal à l'unité. L'intensité des radiations est, par suite, indépen-

Digitized by Google

dante de la température de l'enceinte, de l'éclat de la surface, propriété précieuse pour les mesures optiques de température.

Au cours de ces recherches, j'ai observé une vérification intéressante des théories de Kirchhoff. Pour les corps solides comme pour les gaz, les radiations émises avec le plus d'intensité sont aussi celles qui sont le plus énergiquement absorbées. De telle sorte que la couleur d'un corps incandescent est, dans une certaine mesure, complémentaire de la couleur qu'il présente quand il est éclairé par de la lumière blanche. L'oxyde de zinc, qui paraît jaune quand il est éclairé par de la lumière blanche après avoir été un peu chauffé, la magnésie, etc., paraissent bleus lorsqu'ils sont portés à l'incandescence. On reconnaît très aisément la nuance spécifique d'un corps incandescent en comparant la couleur de la surface du corps échauffé dans une flamme transparente à la couleur que présente le fond des fissures, laquelle est fonction de la température seule et indépendante de la nature du corps considéré.

Graduation. — Pour graduer le pyromètre optique, je me suis servi de mes couples thermo-électriques dont la soudure était recouverte de différents corps Fe^3O^4, Pd, Pt, etc.

Une première série d'expériences faites dans un tube chauffé extérieurement aussi régulièrement que possible avec un couple recouvert de Fe^3O^4 a donné les résultats suivants :

Intensités.	Températures.
0,0076	840°
0,029	920
0,064	960
2,6	1350

Mais la difficulté d'obtenir une régularité suffisante de la température de l'enceinte n'a pas permis de faire jusqu'ici, d'une façon complète, cette série de mesures, qui serait évidemment la plus intéressante.

Une seconde série d'expériences a été faite en fondant, sur la soudure du couple, une petite quantité de Fe^3O^4 et la chauffant, pour les mesures, dans la flamme transparente d'un chalumeau à air ou à oxygène. Les résultats ne diffèrent pas d'une façon sen-

Digitized by Google

sible de ceux obtenus dans le four, ce qui confirme le pouvoir émissif maximum trouvé pour Fe^3O^4. Il ne s'est point produit de changement dans le pouvoir émissif de cet oxyde à son point de fusion, 1340°.

Les résultats des observations peuvent être représentés par la formule

$$I = 10^{6,7} . T^{-\frac{7210}{T}} .$$

Intensités.	Températures observées.	Températures calculées.	Écarts entre le calcul et l'observation.
0,00038	680°	671°	+ 9°
0,00074	700	702	— 2
0,002	760	755	+ 5
0,0054	810	815	— 5
0,0056	820	817	+ 3
0,01	860	853	+ 7
0,034	940	939	+ 1
0,060	980	982	— 2
0,105	1020	1026	— 6
0,19	1080	1078	+ 2
0,67	1220	1205	+15
1,17	1270	1265	+ 5
6,45	1495	1490	+ 5
31,0	1775	1757	+18

Une troisième série d'expériences a été faite avec le platine mat, en fondant un globule de ce métal sur la soudure du couple, le martelant pour obtenir une surface plane, recouvrant cette surface de platine pulvérulent provenant de la décomposition du chlorure et chauffant ce platine à 1500° pour l'amener à un état d'agrégation stable.

On a rapproché, dans le même Tableau, l'éclat d'un fil de platine fondant dans la flamme du chalumeau oxhydrique. L'éclat observé semble exagéré, car il se place assez bien sur la courbe des expériences précédentes relatives au platine mat : il devrait être plus faible et se rapporter au platine poli ; peut-être l'éclat de certains points de la flamme oxhydrique a-t-il donné lieu à des réflexions qui ont faussé les mesures. Cependant l'expérience répétée plusieurs fois a donné des résultats concordants :

Digitized by Google

	Intensités.	Températures.
	0,00031	730°
	0,0011	800
	0,0032	855
	0,0043	880
	0,011	950
	0,073	1080
	0,205	1180
	0,210	1200
	0,480	1290
	0,60	1300
	1,40	1420
	1,90	1450
	2,80	1500
Platine fondant	15,0	1775

Une dernière série d'expériences relatives au palladium a donné les résultats suivants :

	Intensités.	Températures.
	0,00022	700°
	0,0005	735
	0,001	760
	0,0033	840
	0,0091	895
	0,041	1000
	0,087	1060
	0,24	1120
	0,31	1160
	1,17	1310
	1,7	1350
Pd fondant	4,8	1500

Le Tableau suivant donne, de 100° en 100°, l'intensité des radiations rouges émises par les corps d'un pouvoir émissif égal à l'unité. Ces nombres ont été calculés au moyen de la formule d'interpolation donnée plus haut.

Digitized by Google

Intensités.	Températures.
	°
0,00008	600
0,00073	700
0,0046	800
0,020	900
0,078	1000
0,24	1100
0,64	1200
1,63	1300
3,35	1400
6,7	1500
12,9	1600
22,4	1700
39,0	1800
60,0	1900
93,0	2000
1800	3000
9700	4000
28000	5000
56000	6000
100000	7000
150000	8000
224000	9000
305000	10000

Ces données sont résumées dans le Tableau graphique ci-contre :

Il peut être intéressant de rapprocher ces résultats de ceux qui ont été obtenus antérieurement par M. Violle sur le même sujet. Les expériences de ce savant ont toutes porté sur des corps incandescents placés dans une enceinte chaude; elles se rapportent donc à la série de mes mesures sur le rayonnement de Fe^3O^4. Ces dernières ont d'ailleurs porté sur des radiations sensiblement monochromatiques ($\lambda = 650$) grâce à l'emploi *simultané* du verre rouge et de verres absorbants convenablement choisis; elles doivent donc être comparées aux expériences de M. Violle relatives à la radiation $\lambda = 565$ et non, comme on pourrait le croire à première vue, à celles qui ont été faites avec un simple verre rouge; ce verre donne pour le maximum de la radiation lumineuse transmise un λ variable avec la température du corps incandescent.

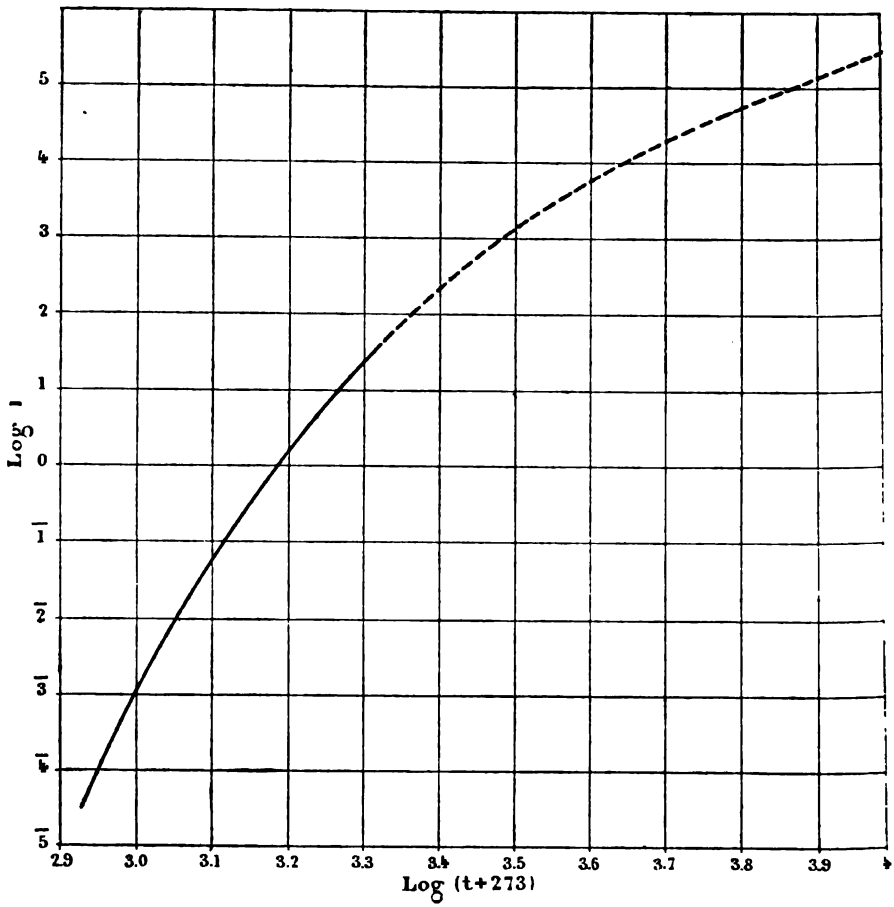
Les données ci-dessous sont exprimées dans chaque série en

Digitized by Google

fonction de la radiation correspondant à 1000° prise pour unité.

Températures.	Intensité. Violle.	Intensité. Le Châtelier.	Rapports.
775	0,113	0,037	3,05
954	0,55	0,54	1,02
1045	1,80	1,65	1,09
1500	85,00	86,00	0,99
1775	280,00	385,00	0,72

Fig. 3.



La méthode photométrique que j'ai employée ne me permettant pas de répondre des mesures d'intensité à plus de 10 pour 100

Digitized by Google

près, les résultats relatifs aux trois températures 954, 1045, 1500 doivent être considérés comme concordants. Le désaccord est au contraire absolu pour les deux températures extrêmes. M. Violle considère comme très incertaines ses mesures relatives à la température de 775, parce que le photomètre employé ne se prêtait pas à l'étude des radiations aussi faibles; la formule d'interpolation qu'il avait donnée pour représenter l'ensemble de ses expériences conduirait à la valeur 0,045, qui se rapproche beaucoup de la mienne. Le nombre trouvé par ce savant pour la température de 1775 me paraît incontestablement trop faible; j'attribue ce résultat au défaut d'équilibre des températures dans les fours où la fusion du platine était obtenue. La voûte du four est certainement plus froide que le métal frappé directement par le jet du chalumeau oxhydrique. Il suffit d'un écart de température de 200° pour rendre compte de la différence qui existe entre nos déterminations.

Expériences dans les usines. — Les méthodes pyrométriques, optiques et thermo-électriques, que j'ai étudiées, m'ont permis d'effectuer la mesure précise des températures développées dans les foyers industriels. Les résultats ainsi obtenus sont, pour certaines industries, en contradiction absolue avec les estimations faites antérieurement, et ne seront sans doute pas acceptés sans contestation. Je serais heureux si leur publication pouvait provoquer des expériences contradictoires sur le même sujet (1).

Les températures données ici sont rapportées à l'échelle définie par les points fixes de M. Violle.

Soufre.	Or.	Palladium.	Platine.
448°	1045°	1500°	1775°

(1) Je n'ai pu mener à bien ces recherches qu'avec le gracieux concours d'industriels qui ont consenti à m'ouvrir leurs usines, malgré le dérangement inévitable que de semblables expériences occasionnent toujours.

Qu'il me soit permis d'adresser tout particulièrement mes remerciements aux directeurs et ingénieurs des usines à fer du Creusot, de Saint-Chamond, d'Unieux et de Denain, des verreries de Clichy-Levallois et Folembray, de la manufacture nationale de Sèvres et de la fabrique de porcelaine de Mehun-sur-Yèvre, de la Compagnie parisienne pour l'éclairage et le chauffage au gaz, de la briqueterie d'Auberville (Calvados), de la fonderie de la rue Oberkampf (Paris).

Digitized by Google

Points de fusion :

Fonte		Acier		
blanche de Suède.	grise de moulage.	doux $c = 0,1$.	demi-dur $c = 0,3$.	dur $c = 0,9$.
1135°	1220°	1475°	1455°	1410°

Acier manganèse à 13 pour 100.	Ferronickel à 25 pour 100.	Bronze d'Al à 10 pour 100.	Bronze de Sn à 20 pour 100.	Laiton de Zn à 35 pour 100.
1260°	1230°	980°	790°	880°

Cornue Bessemer :

Flamme d'un convertisseur Robert.

Période des étincelles.	Fin d'opération.
1330°	1580°

Bessemer de 6 tonnes.

Coulée de la scorie.	Coulées de l'acier dans la poche.	Coulées de l'acier dans le moule.	Solidification de l'oxyde des battitures.	Four à réchauffer.	Lingot sous le marteau-pilon.
1580°	1640°	1580°	1340°	1200°	1080°

Laminage d'un rail.

Arrivée au dégrossisseur.	Cinquième cannelure.	Retour au four.	Arrivée au préparateur.	Passage du préparateur au finisseur.	Sortie du finisseur. Ame.	Sortie du finisseur. Ailes.
1195°	1130°	1110°	1250°	1150°	1100°	1000°

Four Siemens-Martin. — Coulée d'acier demi-dur :

Gaz des gazogènes. Sortie du gazogène.	Gaz des gazogènes. Entrée du récupérateur.	Gaz des gazogènes. Sortie du récupérateur.	Air sortant du récupérateur.	Fumées allant à la cheminée.
720°	400°	1200°	1000°	300°

Four. Fin de fusion de la fonte.	Four. Affinage de l'acier.	Coulée de l'acier dans la poche. Commencement.	Coulée de l'acier dans la poche. Fin.	Coulée de l'acier dans le moule.
1420°	1500°	1580°	1490°	1520°

Digitized by Google

Pour l'acier doux, les températures sont plus élevées de 50°, et l'on observe le même écart entre le commencement et la fin de la coulée, ce qui indique, d'une façon certaine, que le bain d'acier dans la partie centrale du four est plus chaud que vers les extrémités. Dans les fours Siemens-Pernod, c'est au contraire la fin de la coulée qui est la plus chaude.

Four Siemens à creusets pour acier. — Intervalle des creusets : 1600°.

Four à puddler rotatif :

Coulée de la fonte		Loupe en fin d'opération.
dans la poche.	dans le four.	
1340°	1230°	1330°

Haut fourneau marchant en fonte grise pour Bessemer :

Ouvrage en face de la tuyère.	Coulée de la fonte.	
	Commencement.	Fin.
1930°	1400°	1570°

Four à pots pour verrerie :

Four entre les pots.	Verre dans les pots.		Verre à vitre à l'étendage.
	Affinage.	Travail.	
1375°	1310°	1045°	600°

Four Siemens à bassin pour verrerie :

Four.	Verre fondu	Recuit des bouteilles.
1400°	1310°	585°

Four Siemens pour gaz d'éclairage, chauffé par gazogène au coke :

Four.		Cornue en fin de distillation		Fumées allant à la cheminée.
Sommet.	Bas.	à 1m du tampon.	à 1m,50 du tampon.	
1190°	1045°	875°	950°	680°

Four à porcelaine dure. — Fin de la cuisson : 1370°.

Digitized by Google

Je me suis assuré que des porcelaines dures de diverses provenances : Sèvres, Mehun-sur-Yèvre, Bayeux, avaient à peu près exactement le même point de cuisson.

Four Hoffmann à briques rouges. — Cuisson : 1100°.

Les températures données ici sont bien inférieures à celles qui sont le plus généralement admises pour les industries en question : 2000° pour l'acier (1); 1800° pour la porcelaine (2); 1200° pour le gaz d'éclairage. L'exagération de ces derniers chiffres tient à plusieurs causes. Entre différentes déterminations de températures non concordantes, on choisit de préférence les plus élevées, par suite d'un sentiment instinctif qui conduit à admettre une quasi-proportionnalité entre la température d'un corps et son éclat ou la quantité de combustible dépensé pour l'échauffer, tandis qu'en réalité ces deux grandeurs croissent suivant une fonction extrêmement rapide de la température. En second lieu, le procédé le plus fréquemment employé jusqu'ici dans l'industrie, pour les mesures pyrométriques, a été la méthode calorimétrique, en se servant des morceaux de fer dont on supposait à tort la chaleur spécifique invariable. Enfin des causes d'erreurs particulières sont venues fausser des comparaisons dans lesquelles on utilisait le point de fusion du palladium ou du platine. Ainsi la température du Bessemer avait été fixée par Langley à 2000°, parce que le platine paraissait fondre rapidement dans sa flamme. J'ai reconnu qu'il ne fondait pas, mais se dissolvait dans les gouttelettes d'acier fondu entraîné par le courant gazeux. De même, le palladium passe pour fondre dans différents fours où en réalité il se transforme, sans fusion, en une mousse spongieuse, par le fait d'hydrogénation ou d'oxydation passagère.

Électricité. — Quelques expériences faites sur les lampes à incandescence m'ont donné les résultats suivants :

Lampes à incandescence : 1800°.

---

(1) M. Grüner avait déjà indiqué pour le four Siemens-Martin la température de 1500°, en partant de la quantité de chaleur abandonnée par le métal pendant son refroidissement.

(2) M. Vogt avait reconnu depuis longtemps déjà que la température de cuisson de la porcelaine dure ne dépassait pas 1550°.

Digitized by Google

Cette mesure a été faite sur une lampe en marche normale, servant à l'éclairage de l'École Polytechnique.

Les lampes, très poussées, peuvent dépasser 2100°. Les lampes ainsi surmenées éprouvent immédiatement une diminution permanente de résistance qui s'est élevée à 10 pour 100 dans la lampe expérimentée.

La variation de résistance d'une lampe à incandescence de 10 volts a été pour diverses températures trouvée égale à :

Températures.	Résistances.
15°	1
700	0,75
1000	0,66
1400	0,57
1800	0,49
2100	0,44

Les lampes à arcs ont donné pour le point le plus chaud des charbons une température de 4100° qui est indépendante de l'intensité du courant et du système des lampes. Dans les arcs à courant continu la pointe négative est plus froide et atteint seulement 3000°. Ces résultats sont d'accord avec ceux qui avaient été obtenus antérieurement par M. Rossetti.

Soleil. — La même méthode optique appliquée à la détermination de la température effective du Soleil m'a donné, en me servant par extrapolation de la formule donnée plus haut, le chiffre de 7600°.

Ce chiffre a été déduit de trois séries de mesures de la radiation solaire, qui ont conduit pour l'intensité des radiations rouges en dehors de l'atmosphère à la valeur 125000.

Voici l'une de ces séries :

Observation du 19 *mars* 1892.

Heure.	Hauteur du Soleil.	Intensités.
2	35	83000
3	28,30	73000
3,30	25	66000
4,12	18	56000
4,30	15	42000
4,40	14	35000
5	10,30	31000
5,15	8,15	22000
5,25	7	15000

Digitized by Google

La température du Soleil dont il est question ici est la température *effective*, c'est-à-dire, comme l'a proposé M. Violle, la température que devrait avoir un corps du pouvoir émissif égal à l'unité pour nous renvoyer des radiations de même intensité que le Soleil. La température réelle de la photosphère est plus élevée, car une partie de ses radiations sont arrêtées par l'atmosphère solaire moins chaude.

Méthode téléphonique pour l'étude de la propagation des ondes électriques.

Par M. R. Colson.

But de la méthode. — Dans la propagation de tout mouvement ondulatoire, la vitesse V de déplacement des ondes, leur longueur A et leur nombre N par seconde sont liés par la formule connue

$$V = NA.$$

On obtient donc ainsi la valeur de la vitesse si l'on connaît N et A.

Dans les expériences de Hertz, on mesure A, mais N échappe à l'observation directe en raison de sa très grande valeur, et doit être calculé par des formules plus ou moins justifiées.

Je me suis demandé s'il ne serait pas possible de remplacer les oscillations hertziennes par les vibrations plus lentes, de l'ordre de quelques centaines en une seconde, que l'on sait mesurer avec une grande précision au moyen des procédés de l'Acoustique; les ondes émises par la bobine d'induction elle-même remplissent cette condition de fréquence modérée et l'on mesure facilement, ainsi que très exactement, leur nombre N en enregistrant sur le cylindre du chronographe, en face des vibrations d'un diapason connu, les vibrations d'un style fixé au marteau de la bobine. Mais il fallait chercher si l'on pouvait en même temps conserver à la longueur d'onde une valeur mesurable, c'est-à-dire de l'ordre des centimètres ou des décimètres, ce qui revenait à réduire la vitesse de propagation. Or il est logique de penser que cette vitesse doit être fonction de la constitution moléculaire des conducteurs; Gaugain a d'ailleurs trouvé expérimentalement que la propagation

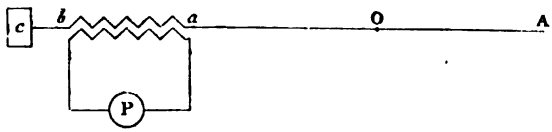
Digitized by Google

des charges électriques est relativement très lente le long de colonnes d'huile et de ficelles mouillées; il résulte aussi des travaux de MM. Fizeau et Gounelle que les vitesses, telles qu'ils les ont mesurées dans le cuivre et dans le fer, sont dans le rapport de 18 à 10. Il était donc permis d'espérer que l'on parviendrait à mettre en évidence des longueurs d'onde mesurables en choisissant des conducteurs convenables. Le problème consistait dès lors à étudier les variations du flux périodique lancé par la bobine d'induction dans des conducteurs médiocres et de natures diverses.

Dispositif. — La source d'électricité employée dans ces expériences est une petite bobine Ruhmkorff, alimentée par une pile thermo-électrique de Carpentier P, et donnant en court circuit une étincelle de 5^{mm}.

A l'une des bornes *a* (*fig.* 1) de l'induit est fixé un fil de cuivre

Fig. 1.



*a*O ayant un diamètre de $\frac{9}{10}$ de millimètre et une longueur de 8^{m}. Ce fil se termine par un crochet O, auquel on peut attacher les conducteurs OA à étudier, lesquels sont tendus horizontalement au moyen d'un support isolant A.

L'autre borne *b* de l'induit communique, au moyen d'un fil de cuivre, avec une capacité métallique *c* qui permet de donner une valeur convenable à l'intensité du flux dans le premier fil; lorsqu'on fait varier cette capacité, on fait varier dans le même sens l'intensité du flux dans l'autre branche.

Premier mode d'emploi du téléphone. — Je me suis servi tout d'abord d'une ficelle mouillée. Lorsque la bobine fonctionne, si l'on promène le long et au contact de cette ficelle l'extrémité nue de l'un des deux câbles du cordon souple d'un téléphone, l'extrémité de l'autre câble restant isolée, j'ai constaté que, à partir du cuivre, l'intensité du son éprouve en certaines régions des chutes plus rapides, séparées par des sortes de paliers où la

Digitized by Google

diminution est plus lente. Ces chutes se déplacent, en se rapprochant entre elles et du cuivre, au fur et à mesure que la ficelle sèche. Leur emplacement dépend donc de l'état du conducteur. De plus, le timbre du son varie.

On constate aussi que, lorsqu'on tient à la main l'enveloppe isolante du cordon souple, les effets d'induction sont étouffés et il ne reste plus que la transmission, par contact, des variations de charge du point même du conducteur que touche l'extrémité dénudée du cordon.

J'ai vérifié ces faits avec plusieurs téléphones et en particulier avec un bitéléphone, d'un usage très commode, que M. Mercadier a bien voulu mettre à ma disposition.

Ce mode d'emploi révèle dans les conducteurs une diminution irrégulière de l'intensité du flux, mais ne permet pas d'en évaluer les variations.

Deuxième mode d'emploi du téléphone. Mesure de l'intensité. — Pour déterminer la valeur du flux en chaque point de la ficelle, j'ai cherché à mesurer la distance d'induction pour laquelle un même téléphone commence à émettre un son; cette distance sensible caractérise l'intensité du flux. Après beaucoup d'essais, qui m'ont démontré la nécessité de diminuer le plus possible le nombre des organes intermédiaires, en raison de la perturbation que chacun d'eux apporte dans le résultat final en matière d'induction, j'ai trouvé que le procédé le plus simple est encore le plus précis; il permet, en outre, d'opérer vite, ce qui est nécessaire avec des liquides qui s'évaporent rapidement. Il consiste à maintenir le téléphone à l'oreille, en laissant le cordon souple pendre librement, sans le toucher avec la main, et à approcher ce cordon du conducteur parcouru par le flux périodique. Les variations produites par induction statique dans le cordon souple se transmettent au téléphone, et avec un peu d'habitude, on arrive facilement à trouver la distance pour laquelle on commence à entendre un son [1].

---

[1] Je me suis surtout servi d'un téléphone de mon système (un des pôles de l'aimant porte la bobine et agit en face du centre de la plaque vibrante; l'autre pôle communique magnétiquement avec un anneau de fer doux qui est placé au-dessus des bords de cette plaque sans la toucher).

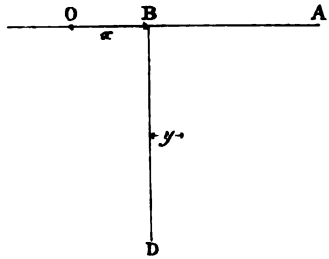
Digitized by Google

On la mesure au moyen d'une règle graduée; l'approximation peut atteindre un centimètre.

J'ai commencé par étudier ce qui se passe le long du fil de cuivre seul; l'intensité du flux est constante le long de ce fil en raison de sa très grande conductibilité. La distance sensible reste alors constante, jusqu'à ce qu'on approche d'une des extrémités; elle atteint le minimum dans le prolongement même du fil. Dans les conditions de l'expérience, un fil de cuivre de $1^m,20$ produit sur le téléphone placé en face de son milieu le même effet que si le fil était indéfini. On sait que l'effet d'induction est alors en raison inverse de la distance du fil au cordon du téléphone.

Le flux est dérivé du conducteur à étudier OA (*fig.* 2) dans un

Fig. 2.



fil de cuivre BD, ayant une longueur de $1^m,60$, tendu horizontalement et perpendiculairement à OA, et pouvant glisser parallèlement à lui-même le long du conducteur, sur lequel il repose par un crochet.

On approche du milieu de BD le cordon souple C disposé verticalement toujours à peu près à la même hauteur, puis on cherche et l'on mesure la distance y qui correspond à la naissance du son.

Si I représente l'intensité du flux définie par l'effet d'induction statique exercé à l'unité de distance sur le câble souple C par la dérivation BD, partant d'un point quelconque B d'abscisse x, $\frac{I}{y}$ est l'intensité à la distance y, puisque l'effet du fil indéfini est en raison inverse de la distance. On a donc

$$\frac{I}{y} = \text{const.}$$

Il en serait encore ainsi si l'on considérait une autre intensité

Digitized by Google

de son du téléphone, pourvu que celle-ci fût toujours la même. La constante dépend du pouvoir inducteur de la dérivation, ainsi que de la sensibilité du téléphone et de l'opérateur.

L'intensité I est fonction du potentiel en B, duquel dépend également l'intensité du flux sur le conducteur OA en B. La courbe des y représente donc, à un facteur constant près, la loi de variation du potentiel et de l'intensité du flux le long du conducteur OA.

L'examen des courbes obtenues au moyen de ficelles et de fils de chanvre, lin et coton, imprégnés de liquides différents, met en évidence les résultats suivants :

Fils longs. Courbes en cascade. — Les fils assez longs pour ne plus impressionner le téléphone à leur extrémité donnent lieu à des courbes qui présentent toujours la forme de cascades, c'est-à-dire sur lesquelles il existe, de distance en distance, des chutes plus rapides séparées par des sortes de paliers où la diminution d'intensité s'effectue plus lentement.

Les nombreuses expériences que j'ai exécutées sur ces conducteurs concordent toutes pour mettre en évidence deux lois :

1° Sur une même courbe, les distances des chutes augmentent en s'éloignant de l'origine;

2° Elles augmentent en même temps que la conductibilité du fil.

Voici l'explication que je propose au sujet de ces courbes en cascade :

Ces affaiblissements et renforcements de l'intensité, fixes le long de chaque fil, ne peuvent provenir que d'un effet d'interférence entre deux ondes. Mais, ici, il n'y a pas d'interférence entre une onde directe et une onde réfléchie, puisque le flux lancé dans le fil est absorbé avant d'arriver à l'extrémité de celui-ci, ce que montre le téléphone, qui n'est plus impressionné au bout du fil. Par conséquent, les deux ondes se propagent dans le même sens et ont des vitesses différentes, de telle sorte que l'une dépasse l'autre de distance en distance; de plus, puisque les écarts des chutes augmentent à partir de l'origine et que ces vitesses ne peuvent que diminuer, la plus grande de ces deux vitesses doit décroître plus vite que la plus faible.

Digitized by Google

Or la bobine envoie précisément deux flux, l'un direct, l'autre inverse, et chacun d'eux est positif ou négatif suivant la borne de l'induit avec laquelle communique le conducteur. Ces deux flux sont lancés dans le fil successivement, dans le même sens, et l'on sait que le flux direct a un potentiel plus élevé que le flux inverse.

Si l'on admet, ce qui semble logique, que le flux à potentiel plus élevé va plus vite que l'autre, les résultats expérimentaux s'expliquent parfaitement; ces deux flux ont alors les propriétés des deux ondes en question.

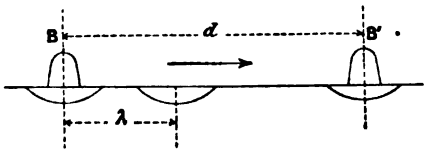
Aux points où les deux flux agissent successivement, les deux effets, qui sont de sens contraire, s'ajoutent; on a là un maximum. Aux points où ils coïncident, les deux effets se contrarient; on a là un minimum. Entre ces deux positions, il y a un point d'inflexion, où la tangente se rapproche davantage de la verticale : c'est l'emplacement d'une chute rapide.

Ces changements dans les positions respectives des deux ondes expliquent aussi les variations de timbre observées.

Appelons Λ et V la longueur d'onde et la vitesse du flux direct, λ et v la longueur d'onde et la vitesse du flux inverse et d la distance de deux coïncidences successives, qui est sensiblement égale à la distance des deux chutes voisines.

Au moment où il y a coïncidence en B (*fig.* 3) entre les deux

Fig. 3.



ondes, l'onde inverse, qui est en avant et qui sera rejointe tout à l'heure en B', se trouve à une distance de B égale à la longueur λ du flux inverse.

On a donc, en supposant les vitesses uniformes dans cet intervalle,

$$d = Vt, \qquad d - \lambda = vt$$

et, comme t est le même, ainsi que v,

$$\frac{v}{V} = \frac{d-\lambda}{d} = \frac{\lambda}{\Lambda},$$

Digitized by Google

d'où

$$\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{d}.$$

Cette relation montre bien que, lorsque d augmente, Λ diminue plus vite que λ.

Remarque. — Les deux flux se contrarient de distance en distance; on doit donc faciliter la propagation du flux direct en diminuant le flux inverse. L'expérience prouve, en effet, que, en introduisant une interruption de $0^m,001$ avec étincelle entre le fil et la bobine, on entend beaucoup plus loin sur le fil, et la courbe ne présente plus de cascades; ce résultat est bien d'accord avec l'hypothèse que je propose.

Fils courts. Longueurs d'onde. — Si l'on opère sur des fils courts, impressionnant le téléphone jusqu'à leur extrémité, les courbes changent d'aspect et présentent alors des sinuosités prononcées qui mettent en évidence la longueur d'onde Λ du mouvement prépondérant. La formule précédente donne ensuite λ en fonction de d déterminé pour le même conducteur. La valeur de λ est indiquée aussi sur certaines courbes.

Avec ces fils courts, il y a réflexion du flux à l'extrémité. J'obtiens des longueurs d'onde très nettes en ramenant le fil sur lui-même au moyen d'une boucle dans laquelle passe un tube de verre qui sert à le tendre horizontalement; chaque flux revient alors sur lui-même sans la perte d'une réflexion proprement dite.

J'ai effectué ainsi un grand nombre d'expériences. Un même fil donne toujours, dans les mêmes conditions de source électrique, la même longueur d'onde, soit qu'on change le sens dans lequel on opère, soit qu'on retourne le fil bout pour bout, soit qu'on prenne différentes longueurs d'échantillons du même fil, soit même qu'on opère avec l'autre borne de la bobine.

Voici, par exemple, ce qu'on obtient, en chiffres ronds, avec un fil de coton de $0^{mm},3$ de diamètre à sec, imbibé d'une dissolution obtenue par déliquescence d'un fragment de chlorure de calcium dans l'atmosphère du laboratoire; cette dissolution reste stable pendant plusieurs jours et permet de prendre un grand nombre de mesures sans rien changer aux conditions de l'expérience.

Digitized by Google

Nombre de brins.	Λ.	λ.	V.	v.
	cm	cm	m	m
1.....	3,5	2	4	3
2.....	6	4	8	5
4.....	12	8	16	10
6.....	18	12	23	16
8.....	21	14	27	18
16.....	32	21	42	27

On voit que les longueurs d'onde et les vitesses augmentent en même temps que le nombre des brins, mais de moins en moins rapidement. On pourra tirer de là une loi exacte quand on aura réuni un grand nombre de résultats. En attendant, ce Tableau donne une idée de l'ordre de grandeur des longueurs d'onde et des vitesses des deux flux de la bobine d'induction pour des résistances qui sont, en chiffres ronds, dans cet exemple, de 100000 ohms par centimètre de longueur du brin de coton.

Résumé et conséquences. — En résumé, l'emploi du téléphone dans les conditions que je viens d'indiquer fait connaître les faits suivants :

1° Phénomène remarquable d'interférence des deux flux de la bobine d'induction, se propageant dans un même sens le long d'un conducteur médiocre et suffisamment long.

2° Loi de variation de l'intensité d'un flux périodique le long de ce conducteur; la courbe moyenne des deux flux de la bobine, et la courbe du flux direct obtenue par suppression du flux inverse (étincelle) sont de la forme $y = y_0 e^{-\alpha x}$. Ce procédé s'applique aussi à des substances plus conductrices que les liquides, même aux métaux, à la condition que le diamètre soit suffisamment petit; ainsi, avec un fil de cuivre de $0^{mm},04$ de diamètre, l'intensité baisse d'un quart de sa valeur sur une longueur de seulement 10^m à partir de l'origine. Lorsque l'affaiblissement de l'intensité pour une longueur de quelques mètres devient très faible, on peut supprimer la dérivation et chercher la distance sensible du téléphone par rapport au conducteur lui-même. Dans tous les cas, la loi $y = y_0 e^{-\alpha x}$ est vérifiée. On sait, d'autre part, qu'on arrive théoriquement à cette loi pour la diminution du potentiel électrique

Digitized by Google

le long d'une barre indéfinie, et que l'on a alors

$$\alpha^2 = \frac{hp}{ks},$$

h et k étant les coefficients des conductibilités intérieure et extérieure, p le périmètre et s la section.

3° Détermination des longueurs d'onde au moyen des interférences dues à la réflexion des flux dans les fils courts, d'où évaluation de la vitesse dans chacun des conducteurs expérimentés.

Ce procédé nouveau permet donc d'étudier expérimentalement la propagation d'ondulations électriques de fréquence modérée dans les fils, et d'obtenir d'une façon simple non seulement une mesure de la vitesse, mais encore les relations de celle-ci avec les autres éléments de la propagation; ces résultats ressortiront des documents que je rassemble en appliquant cette méthode à un grand nombre de conducteurs et en variant les conditions de l'expérience (¹).

SÉANCE DU 18 MARS 1892.

PRÉSIDENCE DE M. MALLARD.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 mars est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. BOCAT (l'abbé), Professeur au Collège Saint-François-de-Salles, à Dijon.
BASTIDE, Employé au Secrétariat de la Faculté des Sciences de Paris.
GALIMARD, Pharmacien de 1re classe, à Dijon.
GRUEY-VIARD, Constructeur d'instruments de précision, à Dijon.
TISSIER, Professeur au Lycée de Reims.

M. le PRÉSIDENT annonce à la Société que l'exposition annuelle aura lieu cette année les mardi 19, mercredi 20 et jeudi 21 avril.

Le samedi 23 avril, à huit heures et demie du soir, M. le Commandant Renard fera une Communication « sur l'aviation ».

M. le PRÉSIDENT annonce aussi que les Compagnies des chemins de fer ont accordé aux Membres de la Société, qui se rendront à Paris pour notre exposition, une réduction de 50 pour 100 sur le prix des places.

(¹) Ce travail est exécuté au laboratoire de Physique de l'École Polytechnique.

Digitized by Google

M. le Président adresse, au nom de la Société, aux Compagnies des chemins de fer, tous ses remerciements pour l'avantage qui vient d'être accordé.

M. le Président lit une lettre qui lui est adressée par M. le Capitaine Uchard : M. Uchard annonce qu'il a fait une étude théorique sur l'influence de la résistance de l'air sur la chute des corps.

Expériences de M. Langley sur la résistance de l'air au mouvement.

M. Lauriol rend compte des expériences de M. Langley sur la résistance de l'air en se bornant aux principales. Toutes les expériences ont été faites en plein air, et le vent les a souvent gênées. Elles ont été faites avec un manège de 9^m de rayon au bout duquel ont été fixés les divers appareils décrits plus bas. Elles ont porté sur des plans rectangulaires dont un côté, l'*envergure*, était perpendiculaire à la direction du mouvement, et l'autre côté, la longueur, était parallèle ou oblique à cette direction, faisant avec elle un angle α.

Enregistreur de composantes. — Fléau mobile dans tous les sens autour de son centre au moyen d'une suspension de Cardan et permettant de mesurer en grandeur et direction la pression agissant sur un plan. Soient P la pression par unité de surface, V la vitesse, et K une constante, on vérifie pour un plan carré de 305^{mm} de côté la formule de Duchemin

$$P = KSV^2 \frac{2 \sin \alpha}{1 + \sin^2 \alpha};$$

en prenant pour unités le kilogramme (force), le mètre et la seconde et leurs unités dérivées, on trouve $K = 0,08$ au lieu de $0,125$ généralement admis.

Appareil à chute. — Curseur pouvant tomber verticalement de $1^m,22$ le long d'un guide, sans frottement sensible; au curseur peuvent se fixer des plans diversement inclinés.

Avec des plans horizontaux de même surface 930^{cq}, de même poids total y compris le curseur (environ 500^{gr}), la durée de chute augmente quand on imprime à tout le système une vitesse horizontale.

Pour une vitesse de 20^m par seconde, la durée de chute augmente de 30 pour 100 à 300 pour 100 suivant que le rapport de l'envergure à la longueur est petit ou grand et varie de $\frac{1}{5}$ à 5 environ.

Avec des plans obliques pour une certaine vitesse, le plan se soutient sans monter ni descendre. Vers $\alpha = 30$ cette vitesse ne dépend guère de la forme du plan. Pour $\alpha < 30°$ cette vitesse est plus faible pour les plans à grande envergure (surface et poids constants); l'inverse a lieu pour $\alpha > 30°$.

Avec des plans superposés de 10^{cm} de longueur et environ 70^{cm} d'envergure, espacés de 10^{cm}, la pression supportée par chaque plan n'est pas influencée par la présence des autres.

Digitized by Google

Enregistreur de composantes. — Fléau mobile dans tous les sens autour de son centre, mais suivant un dispositif différent de l'enregistreur de résultantes. Les composantes, horizontale et verticale, peuvent être mesurées séparément et on en déduit la pression résultante par unité de surface P.

Pour des plans normaux à la direction du mouvement on vérifie la formule

$$P = 0{,}08\,V^2,$$

quelle que soit la forme du plan.

Pour les plans carrés, diversement inclinés, on retrouve la formule

$$P = 0{,}08\,V^2\,\frac{2\sin\alpha}{1+\sin^2\alpha}.$$

Pour des plans à grande envergure aux inclinaisons $\alpha = 0$, $\alpha = 30°$ environ et $\alpha = 90°$, on retrouve la même valeur que pour les plans carrés. Entre $\alpha = 0$ et $\alpha = 30°$, la pression est plus forte que pour les plans carrés, elle est plus faible au delà de 30°. L'inverse a lieu pour les plans à faible envergure.

Au moyen des diverses données des expériences, on peut pour un aéroplane de surface et de poids constants déterminer aux diverses inclinaisons la vitesse V qui lui permet de se soutenir en l'air, et la composante horizontale R de la pression. Le produit VR est la puissance nécessaire pour propulser et sustenter l'aéroplane. Pour des inclinaisons plus faibles que 30°, on trouve que, lorsque α diminue, V augmente et VR diminue. Donc VR diminue quand V augmente. M. Langley en déduit que si, toutes choses égales d'ailleurs, les pressions par unité de surface sont indépendantes des dimensions absolues, avec une vitesse de 20^m par seconde et une inclinaison de 2°, le rapport du poids total sustenté à la puissance motrice serait de 95^{kg} par cheval. Le problème du vol serait donc facile à résoudre avec les moteurs que nous possédons actuellement.

M. Lauriol insiste sur la difficulté des expériences et l'incertitude qui peut encore régner sur les résultats obtenus. Par exemple, le coefficient 0,08 est la moyenne des diverses valeurs obtenues, lesquelles varient entre 0,07 et 0,09; les autres résultats sont obtenus avec une approximation du même ordre.

Il exprime ensuite l'avis que les conclusions de M. Langley sont trop optimistes, pour les motifs suivants :

1° M. Langley néglige systématiquement la résistance horizontale due à la tranche des plans, estimant que cette résistance serait nulle avec des plans à bords convenablement amincis. Pour $\alpha = 2°$, la résistance négligée est le triple de la résistance dont on a tenu compte. Il est peu vraisemblable qu'on puisse l'annuler complètement en la supposant réduite des $\frac{2}{3}$, elle resterait encore égale à la résistance dont on a tenu compte.

2° M. Langley n'a tenu aucun compte de la résistance à l'avancement

Digitized by Google

due à la nacelle, aux aéronautes, à leurs agrès, au moteur, aux cordes de suspension, etc., résistance qui est proportionnelle à V^2, et serait du même ordre de grandeur que la résistance dont on a tenu compte.

3° Enfin, le produit VR ne représenterait la puissance à développer par le moteur que si ce dernier s'appuyait sur la terre ou sur un corps de masse pratiquement infinie. Avec un propulseur s'appuyant sur l'air, une partie de la puissance est employée à mettre cet air en mouvement. Il y a donc à considérer le rendement du propulseur, rendement qui serait de $\frac{1}{2}$ avec une des hélices essayées par M. Langley et n'aurait guère dépassé $\frac{3}{4}$.

De ces diverses observations on pourrait déduire qu'à une vitesse de 20^m par seconde, et avec $\alpha = 2°$, le poids *total* sustenté ne serait guère que de 20^{kg} à 30^{kg} par cheval, ce poids comprenant l'aéroplane, nacelle, aéronautes, agrès, moteur, combustible, etc.

M. Lauriol présente ensuite quelques observations relatives aux erreurs qui peuvent provenir du mouvement circulaire. Un corps entraîné suivant une circonférence de 9^m de rayon, avec une vitesse de 20^m par seconde, est soumis à une force centrifuge quintuple de son poids. L'air, plus ou moins entraîné par ces divers appareils, tendra à prendre un mouvement centrifuge dont il n'a pas été tenu compte. Le mouvement relatif de l'air et des plans n'est plus, ni comme grandeur, ni comme direction, celui sur lequel on comptait. Il est difficile de savoir s'il y a là une cause sérieuse d'erreur, mais il ne serait pas sans intérêt de le vérifier.

M. le Commandant Renard fait observer que les résultats donnés comme nouveaux dans le Mémoire de M. Langley sont déjà en grande partie connus, notamment par les travaux de Penaud. Néanmoins les nombreux tableaux dressés par M. Langley et donnant les résultats numériques des expériences constituent un précieux document. M. le Commandant Renard insiste en outre sur l'erreur commise par M. Langley en négligeant les résistances à l'avancement dues à la tranche des plans et aux divers corps sustentés, erreur qui conduit à admettre une valeur beaucoup trop élevée pour le poids total pouvant être sustenté par chaque cheval-vapeur de puissance motrice.

M. le Dr Paquelin présente à la Société ses nouveaux appareils perfectionnés. Les modèles d'*éolipyles* qu'il a présentés antérieurement à la Société ne comportaient pas de régulateur ou possédaient des régulateurs à presse-étoupe avec lesquels il était impossible d'éviter les fuites. Dans le modèle actuellement réalisé, le Dr Paquelin utilise l'élasticité des plaques déformables dont M. d'Arsonval s'est servi pour la construction de ses étuves. Par ce procédé, on obtient une étanchéité parfaite et la flamme de l'éolipyle peut être au besoin abaissée à l'état de veilleuse.

Un autre modèle d'*éolipyle à réservoir indépendant* peut fournir sans danger d'explosion un travail continu de plusieurs heures à toute flamme. Le brûleur et le réservoir sont distincts; ils communiquent entre eux au

Digitized by Google

moyen d'une large mèche. Cet appareil fonctionne dans toutes les positions. Son réservoir se maintient toujours à très basse température, quelle que soit la durée de l'opération.

Le nombre d'heures de travail n'est limité que par les dimensions données au réservoir. Le dispositif se prête à l'adaptation du régulateur. Enfin la flamme dans cet instrument est plus sèche et partant plus chaude que celle des autres modèles.

Les *thermo-cautères* ont été également modifiés. Dans les nouveaux modèles on réalise une grande économie de platine. La main est à proximité (5^{cm}) du champ opératoire. On tient l'instrument comme un crayon. Le récipient est incassable. Le cautère peut être porté dans les cavités sans que les produits de la combustion en brûlent les bords et les parois. Le liquide ne peut plus être projeté à l'état enflammé hors du carburateur. Le cautère s'amorce d'emblée en tout temps. L'incandescence se règle immédiatement au gré voulu par l'opérateur sans artifice aucun de soufflerie. Les temps d'arrêt de la poire de Richardson sont supprimés. On n'a plus besoin de faire usage de lampe à alcool; enfin l'instrument est rendu plus pratique et plus sûr.

Ces thermo-cautères possèdent un robinet doseur-mélangeur qui règle la composition des mélanges gazeux et permet d'obtenir à volonté tous les degrés de carburation, depuis les mélanges à excès d'air jusqu'à ceux à excès de vapeurs hydrocarbonées.

Le *chalumeau* auquel on a adjoint un robinet doseur-mélangeur donne, grâce à la composition parfaite du mélange, une flamme dont la température peut atteindre près de 1800°. Cette flamme est d'un bleu violet d'une parfaite limpidité, elle a l'éclat et le velouté d'une peinture à la gouache, sa température et sa hauteur se règlent à volonté. Le diamètre de la flamme mesuré à sa base peut avoir depuis un millimètre seulement jusqu'à plusieurs millimètres suivant le dispositif de la tête. On peut se servir du chalumeau pour chauffer en quelques minutes un fer à souder.

Des *foyers de platine* de dispositifs variés donnent une lumière très brillante. L'un d'eux qui a $8^{mm} \times 8^{mm}$ donne comme éclat 8^{carc},10. La lumière totale est d'une demi-carcel (mesures prises par MM. Baille et Féry à l'Ecole de Physique et de Chimie industrielles). Ces foyers peuvent conserver leur incandescence au milieu de l'eau.

Le Dr Paquelin donne ensuite quelques explications sur l'application du thermo-cautère à la *pyrographie* ou art d'ornementer le bois par le feu. Les Allemands du Sud ont dès son apparition utilisé le thermo-cautère pour cet usage, mais sans rappeler l'origine de l'instrument dont ils se servaient. Comme spécimens des applications artistiques de son instrument, le Dr Paquelin montre aux Membres de la Société des compositions pyrographiques faites en France par le commandant Blain, le comte Aguado et M. Henri Guérard. Il présentera dans une autre Communication des instruments permettant d'obtenir, suivant le vœu de Detaille, des teintes plates et toute la gamme des bistres, des jaunes et des gris.

Digitized by Google

En terminant M. le Dr Paquelin s'élève contre ceux qui ont voulu tourmenter le dispositif du thermo-cautère et ont tenté de substituer à la soufflerie de Richardson un gazomètre.

SÉANCE DU 1er AVRIL 1892.

PRÉSIDENCE DE M. LIPPMANN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 mars est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. AMET (E.), aux Usines Saint-Hubert, à Sézanne (Marne).
CANET (G.-A.), Directeur de l'Artillerie des Forges et Chantiers de la Méditerranée.
DUBOIS, Professeur au Lycée Montaigne, à Paris.
MARAGE (Dr), Docteur ès Sciences, à Paris.
MOULIN (H.), Capitaine d'Artillerie, à Orléans.
PERREAU, Agrégé-Préparateur de Physique au Collège de France.

M. PH. PELLIN annonce que M. *Frank Mac-Clean* M. A. (Master of Carti), qui a présenté à la Société astronomique royale de Londres de remarquables photographies spectrales obtenues avec un réseau de Rowland, a bien voulu, sur sa demande, envoyer deux Atlas avec notices, qu'il se fait un plaisir d'offrir à la Société française de Physique.

Le premier Atlas comprend deux séries de spectres photographiques du Soleil et de 15 métaux disposés parallèlement pour faciliter leur comparaison et l'identification de leurs lignes.

Le spectre s'étend de l'onde 3800 à 5750 ou environ, de H à D.

La série I comprend le spectre du Soleil, celui du fer, du platine, de l'iridium, de l'osmium, du palladium, du rhodium, du ruthénium, de l'or et de l'argent constituant le groupe platine.

La série II comprend le spectre du Soleil, du fer, du manganèse, du cobalt, du nickel, du chrome, de l'aluminium et du cuivre, constituant le groupe cuivre-fer.

Chaque série est composée de six sections correspondant aux sections de la carte d'Angström.

Le deuxième Atlas comprend les photographies comparées de H à A du haut Soleil, c'est-à-dire au-dessus de 45° à l'horizon, et du bas Soleil, c'est-à-dire au-dessous de 7°,5 à l'horizon, de manière que l'atmosphère traversée par les rayons solaires soit de 5 fois environ moins grande dans le premier cas que dans le second.

Une Table donne la force élastique des vapeurs aqueuses de l'atmosphère au moment de la pose.

Digitized by Google

Les photographies sont par sections de 1 à 13, de 1 à 9 elles correspondent aux divisions de la carte d'Angström.

Les sections du haut et bas Soleil sont montées en juxtaposition, pour montrer par comparaison les groupes et les lignes atmosphériques, divisées en deux classes :

1° Celle dans laquelle la dimension des lignes devient de plus en plus sombre à mesure que le Soleil approche de l'horizon ;

2° Celle dans laquelle beaucoup de lignes deviennent exceptionnellement proéminentes dans les mêmes circonstances et spécialement quand il y a beaucoup d'humidité dans l'air.

Ces photographies, obtenues avec un réseau plan de Rowland, sont grandies huit fois et demie et ont été reproduites en photolithographie.

M. Frank Mac-Clean décrit son appareil spectroscopique, les absorbants employés et la nature des plaques.

Ces collections seront exposées à la séance de Pâques.

M. Blondel divise sa Communication en deux parties : l'une consacrée à l'exposé d'une méthode générale pour l'étude des courants alternatifs, l'autre à l'examen des phénomènes de l'arc alterné.

1° *Méthode pour la détermination des courbes périodiques des courants alternatifs.*

Cette méthode, qui est une application de la stroboscopie, repose sur l'emploi d'un contact instantané, combiné avec l'enregistrement photographique automatique et continu.

Le contact instantané charge un condensateur, puis le décharge dans un galvanomètre Deprez-d'Arsonval, qui prend une déviation permanente proportionnelle à la différence de potentiel au moment très précis de la rupture.

M. Blondel indique les conditions à remplir pour que l'emploi du condensateur soit légitime et les expériences de contrôle qu'il a effectuées.

Il présente un appareil de contact comprenant en double tous les organes, de façon à permettre de mesurer en même temps la tension et l'intensité (sous forme d'une différence de potentiel). Le bras mobile qui porte les quatre ressorts de charge et de décharge est animé d'un mouvement lent de rotation, et l'inscription se fait sur un papier sensible, défilant avec un mouvement synchrone devant les galvanomètres. Le synchronisme, établi d'abord à distance par deux appareils d'horlogerie, a été, en dernier lieu, réalisé d'une manière plus avantageuse à l'aide d'une liaison mécanique.

La même feuille peut alors recevoir un nombre quelconque d'inscriptions; la durée de chacune est de deux à trois minutes. Enfin l'auteur montre que les instruments enregistreurs doivent être réglés à l'apériodicité critique et que leur période d'oscillation doit être une fonction déterminée théoriquement et expérimentalement de la période d'inscription.

Digitized by Google

2° *Phénomènes périodiques de l'arc alterné.*

M. Blondel expose d'abord les précautions qu'il a dû prendre pour ramener les conditions de production de l'arc (circuit, machine, etc.) à se rapprocher autant que possible des conditions théoriques; puis il présente à la Société les courbes obtenues dans des conditions variées, avec différents alternateurs, aux fréquences de 26 et 52 périodes.

Les résultats d'un nombre considérable d'expériences ont montré l'influence prépondérante de la qualité des crayons sur la forme des courbes, et permis de distinguer trois cas principaux entre lesquels se rangent tous les intermédiaires possibles.

L'*arc silencieux*, obtenu seulement avec des crayons à mèche tendre, est caractérisé par des courbes de tension (entre les pointes des crayons) très arrondies et assez peu différentes de la sinusoïde, et des courbes d'intensité se rapprochant plutôt de la forme triangulaire. Il n'y a pas de décalage entre la tension et l'intensité (loi de M. Joubert). L'introduction du circuit décale simultanément les deux courbes.

Le rendement électrique $\mu = \frac{P}{EI} = \frac{\int_0^T ei\,dt}{\sqrt{\int_0^T e^2 dt}\sqrt{\int_0^T i^2 dt}}$ est compris entre 0,95 et 1,00.

Tous ces faits s'expliquent par la conductibilité artificiellement entretenue dans l'arc par les poussières provenant de la mèche et font comprendre pourquoi l'arc silencieux se comporte sensiblement comme une résistance morte.

L'*arc sifflant*, qui présente un phénomène physique mieux défini, est obtenu surtout nettement avec des crayons homogènes sous de très faibles écarts. Il ne présente encore aucun décalage sensible, mais l'intensité reste nulle pendant une fraction pouvant atteindre jusqu'à près de la moitié de chaque alternance; en même temps la tension s'élève au-dessus de sa valeur normale et descend brusquement au moment de l'allumage.

Dans ces conditions le rendement s'abaisse à des chiffres voisins de 0,70.

L'effet de la self-induction est de décaler simultanément les deux courbes, de redresser les portions montantes et descendantes de la tension et de diminuer en même temps la durée du courant nul.

L'*arc criard*, dû à l'instabilité de l'arc, surtout avec des crayons sans mèche, et analogue à une série de décharges disruptives, présente des courbes du même genre que celles de l'arc sifflant, mais avec une période de courant nul moins bien marquée et souvent remplacée par un simple point anguleux; cela est dû très probablement à la conductibilité des gaz qui peuvent alors pénétrer entre les électrodes, contrairement au cas précédent.

La *fréquence* influe sur la stabilité de l'arc, mais ne modifie pas les types de courbes. La constitution de l'alternateur joue un rôle semblable

Digitized by Google

à celui du circuit, et peut en outre intervenir par des effets de réaction d'induit.

L'auteur a étudié également la *répartition de la chute de potentiel* totale entre les pointes des crayons. Elle se divise en trois parties comme dans l'arc à courants continus, mais toutes périodiquement variables.

La *résistance* propre de l'arc passe par un minimum vers le milieu de chaque alternance et semble varier d'une façon discontinue au commencement et à la fin de chacune.

L'absence de décalage entre la tension et l'intensité permet enfin de conclure qu'il n'y a pas dans l'arc alterné de *force contre-électromotrice*.

La polarisation, si elle peut exister à cette haute température dans un milieu gazeux, serait très faible : l'hypothèse la plus naturelle est d'assimiler la résistance au passage à l'effet d'un barrage en Hydraulique ou mieux à celui d'une tension de vaporisation.

L'auteur se propose de revenir prochainement sur cette question.

M. Duclaux décrit le principe d'un appareil imaginé par M. Izarn et destiné à montrer les effets de la superposition d'une onde directe et d'une onde réfléchie. Supposons un losange articulé en ses sommets ABCD et dont une diagonale, BD, soit maintenue verticale : la seconde diagonale AC, horizontale, occupera dans l'espace une hauteur dépendant de la position des sommets B, D; si B et D se déplacent sur la verticale symétriquement par rapport à la diagonale horizontale, elle restera immobile; si le déplacement est dissymétrique par rapport à sa position primitive, la diagonale horizontale s'élèvera ou s'abaissera. En faisant appuyer par un ressort les sommets B et D contre deux règles M et N d'un profil quelconque que l'on fait mouvoir, la position de la diagonale AC résultera à chaque instant des points des profils M et N qu'on aura amenés sur la verticale BD.

M. Izarn a choisi deux règles M, N, identiques, à profil sinusoïdal, perpendiculaires au plan du losange, dont l'une, M, mobile de gauche à droite, représente l'onde directe et commande le mouvement de droite à gauche de l'autre N, qui représente l'onde réfléchie. Suivant la position relative initiale du plan du losange et des profils MN, la diagonale horizontale restera immobile (nœuds) ou prendra un mouvement oscillatoire qui acquiert une amplitude maxima pour une certaine position relative initiale (ventres).

M. Izarn, afin de rendre les mouvements des sommets et de la diagonale facilement visibles, y a attaché de petites boules, blanches pour les sommets, rouges pour la diagonale. Il a en outre disposé dans la longueur des règles et à distances égales correspondant aux divisions aliquotes de la sinusoïde des losanges qui offrent alors l'image du mouvement d'ensemble résultant.

L'appareil définitif que montre M. Duclaux a été réalisé par M. Otto Lund, qui a rendu l'instrument plus facile à manier et a permis d'imprimer aux profils directeurs un mouvement continu en substituant aux règles, dont le déplacement était nécessairement alternatif, un ruban métallique

Digitized by Google

sans fin qui s'enroule sur deux tambours. Les sommets moteurs du losange sont fixés à l'extrémité de doigts qui viennent appuyer sur la portion antérieure (onde directe) et sur la portion postérieure (onde réfléchie) du ruban.

Absorption cristalline et choix entre les diverses théories de la lumière;

par M. E. Carvallo.

M. Carvallo informe la Société que les conséquences paradoxales, qu'il a tirées de la loi de M. H. Becquerel, l'ont conduit à une expérience d'une importance capitale pour la théorie de la lumière. Voici d'abord la loi de M. Becquerel :

Si un rayon de lumière monochromatique traverse un cristal biréfringent, l'absorption ne dépend que de la position de la *vibration de Fresnel.* L'intensité du rayon émergent est donnée par la formule

$$\sqrt{i} = \sqrt{i_0}(e^{-mz}\cos^2\alpha + e^{-nz}\cos^2\beta + e^{-pz}\cos^2\gamma),$$

où i_0 est l'intensité du rayon incident supposé uniradial; i est l'intensité du rayon émergent; α, β, γ les angles de la vibration de Fresnel avec les axes principaux d'absorption; z l'épaisseur du cristal traversée par le rayon; e la base des logarithmes népériens.

Supposons que, après avoir traversé l'épaisseur z de cristal, le rayon traverse de nouveau l'épaisseur z; il aura traversé en tout l'épaisseur $2z$. Donc la loi de Becquerel donnera pour l'intensité

$$(1) \qquad \sqrt{i_1} = \sqrt{i_0}(e^{-2mz}\cos^2\alpha + e^{-2nz}\cos^2\beta + e^{-2pz}\cos^2\gamma).$$

Si l'on admet que l'absorption ne modifie le rayon lumineux que dans son intensité, sans altérer sa nature, *son état de polarisation*, la seconde épaisseur z doit produire le même effet que la première. Pour avoir l'intensité du rayon émergent, il faudra multiplier $\sqrt{i}$ par le même facteur qui a d'abord affecté $\sqrt{i_0}$. On a donc pour l'intensité, dans cette hypothèse,

$$(2) \qquad \begin{cases} \sqrt{i_2} = \sqrt{i}(e^{-mz}\cos^2\alpha + e^{-nz}\cos^2\beta + e^{-pz}\cos^2\gamma) \\ \qquad\;\; = \sqrt{i_0}(e^{-mz}\cos^2\alpha + e^{-nz}\cos^2\beta + e^{-pz}\cos^2\gamma)^2. \end{cases}$$

Cette valeur de i_2 est différente de i_1. L'hypothèse qui l'a fournie est donc inadmissible et on est conduit à cette conséquence :

Quand un rayon traverse un cristal absorbant, son état de polarisation change à mesure qu'il pénètre dans le cristal.

Ici une nouvelle question se pose.

Ce changement de polarisation subsiste-t-il quand le rayon sort du cristal? — Pour trancher cette importante question, coupons le cristal d'épaisseur $2z$ en deux moitiés d'épaisseur z et appliquons ces fragments l'un contre l'autre de façon à reconstituer, en apparence, le cristal primitif. Enfin, laissons de nouveau traverser le cristal coupé par le même

Digitized by Google

rayon qui avait d'abord traversé le cristal entier. A travers la première moitié z, le rayon prend un certain état de polarisation. Si cet état subsiste à travers la coupure, l'intensité émergente sera i_1; si, au contraire, la coupure rétablit l'état de polarisation que possédait le rayon à son entrée dans la première moitié du cristal, l'intensité sera i_2.

Vérification expérimentale. — La tourmaline est particulièrement favorable à cette expérience. Ce cristal uniaxe éteint rapidement le rayon ordinaire. En d'autres termes, il suffit d'une faible épaisseur z pour rendre les termes e^{-nz}, e^{-pz} insensibles. Les formules (1) et (2) deviennent alors

$$(1) \qquad i_1 = i_0 e^{-4mz} \cos^4 \alpha,$$
$$(2) \qquad i_2 = i_0 e^{-4mz} \cos^8 \alpha,$$

où α est l'angle de la vibration de Fresnel avec l'axe cristallographique de la tourmaline. Pour $\alpha = 45°$, par exemple, l'intensité i_1 est quatre fois plus grande que i_2. Dans ces conditions, l'expérience ne peut laisser aucun doute : elle a vérifié la formule (1) dans le cas d'une seule tourmaline et la formule (2) dans le cas de deux tourmalines superposées. Elle a porté sur une tourmaline brune la longueur d'onde $\lambda = 1^{\mu},84$ du spectre calorifique et les angles $\alpha = 0°$, $10°, 20°$, $30°$, $40°$, $50°$, $60°$. M. Carvallo décrit en détail ces expériences et observe que les réflexions sur les faces de la tourmaline étaient éliminées, car le cristal plongeait dans du sulfure de carbone qui a justement le même indice de réfraction.

Conclusions. — 1° *La loi de M. H. Becquerel est vérifiée dans le cas limite important où une seule des trois composantes de l'intensité subsiste.*

2° *Elle est étendue aux rayons calorifiques.*

3° *Quand un rayon extraordinaire traverse la tourmaline dans une direction oblique à l'axe, son état de polarisation varie* PROGRESSIVEMENT *jusqu'à ce que l'épaisseur traversée soit celle qui éteindrait le rayon ordinaire. Cet état demeure alors invariable jusqu'à la sortie. Là le rayon reprend* BRUSQUEMENT *l'état de polarisation primitif.*

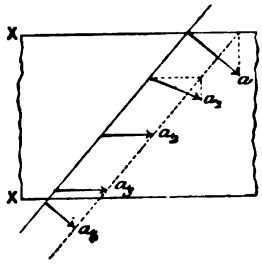
La dernière loi s'étend à tous les cas soumis à la loi de Becquerel.

Théories de la lumière. — D'abord l'énoncé seul de la loi de M. H. Becquerel conduit à rejeter le système Neumann, Mac-Cullagh; puis la troisième conclusion de M. Carvallo ne permet pas de fixer la vibration invariablement dans le plan de l'onde, comme le veut cette hypothèse de Fresnel que l'éther est incompressible.

D'autre part si, pour la composante parallèle à l'axe, on néglige l'absorption qui était faible dans la tourmaline observée, la figure montre comment on peut imaginer les transformations successives de la vibration : a est la vibration de Fresnel, à son entrée; elle perd progressivement sa composante normale à l'axe X de la tourmaline dans le parcours a, a_1, a_2; elle demeure parallèle à X de a_2 en a_3. A sa sortie, en a_4, elle perd brus-

Digitized by Google

quement sa composante normale à l'onde plane. Avec cette hypothèse, M. Carvallo explique la formule de M. Becquerel et celle qu'il a lui-même donnée pour le cas de deux tourmalines superposées.



En terminant, M. Carvallo remarque qu'il semble y avoir une perte brusque d'énergie lumineuse à la sortie du cristal. Il a été ainsi conduit à voir s'il n'y avait pas de réflexion sur la face de sortie, malgré l'égalité des indices de part et d'autre de cette surface : il a constaté l'absence complète de lumière réfléchie.

M. Cornu fait remarquer l'importance que présente, pour l'interprétation des expériences qu'a faites M. Carvallo, l'identité des indices de réfraction du sulfure de carbone et de la tourmaline, car une différence assez petite entraîne des phénomènes de réflexion et un affaiblissement à chaque surface de séparation.

M. Carvallo nous informe que ses nouvelles expériences confirment la Note que M. Potier a communiquée à l'Académie dans sa séance du 11 avril. Ce n'est qu'à une coïncidence numérique fortuite qu'il faudrait attribuer la vérification de la loi sur laquelle reposent les raisonnements ci-dessus.

DÉCISIONS

DU

CONSEIL DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

Dans la Séance du jeudi 31 mars dernier, le Conseil de la *Société de Physique* a pris les décisions suivantes :

Aucun Mémoire ne sera inséré dans le Bulletin annuel s'il n'a pas fait l'objet d'une Communication en séance.

Le Conseil s'est occupé en outre de dresser une liste des personnes auxquelles on demandera de vouloir bien patronner la souscription pour élever une statue à Fresnel.

Digitized by Google

Appareil démontrant le mécanisme des ondes stationnaires;

Par M. Izarn.

Les belles expériences de M. Otto Wiener, et surtout la photographie colorée du spectre par M. Lippmann ont appelé l'attention des personnes les moins familières avec l'Optique physique sur le phénomène des ondes stationnaires. C'est pour ces personnes-là, en particulier, qu'il m'a paru utile de combiner un système qui en rende le mécanisme tangible, et je suis persuadé qu'il pourra même rendre service aux professeurs chargés d'enseigner cette question, soit en Optique, soit en Acoustique.

Voici le schéma du dispositif que j'ai employé :

Deux règles A et B, à profil sinusoïdal, peuvent se déplacer dans le sens de leur longueur, et le mouvement de l'une A en avant (rayon direct) entraîne celui de l'autre en arrière (rayon réfléchi). Contre les profils de ces règles s'appuient constamment au moyen de ressorts (non figurés) des couples équidistants, et aussi nombreux que l'on voudra, de petites baguettes à roulettes r, r', dont un seul est représenté (*fig.* 1).

La *fig.* I_a, qui est une coupe passant par la ligne MM', montre que les extrémités intérieures des deux baguettes d'un même couple portent deux sommets opposés d'un parallélogramme articulé, dont les deux autres sommets munis d'anneaux α, α' laissent passer une tige armée d'une boule et qui, se recourbant en dessous, peut glisser dans une gaine g.

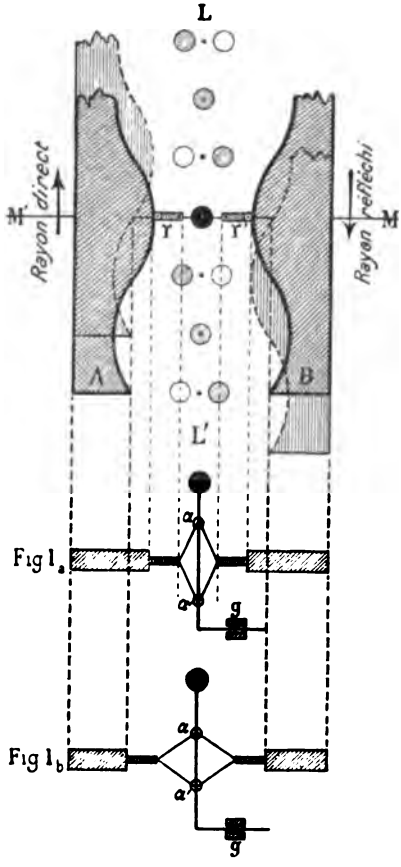
La *fig.* I_b représente ce même système lorsque les règles occupent les positions relatives qu'indique le pointillé, et elle rend très visible, sans entrer dans de plus longs détails, que, quelles que soient ces positions relatives, la boule B reste immobile, le mouvement n'ayant pour effet que de déformer le parallélogramme.

La *fig.* 2 est relative à ce qui se produit pour un couple situé à une distance du précédent égale à $\frac{1}{4}$ de longueur d'onde. Ici, il est tout aussi visible que le mouvement, au lieu de déterminer une déformation du parallélogramme correspondant, se borne à le

Digitized by Google

transporter latéralement (à droite ou à gauche alternativement), la tige de la boule glissant alors dans la gaîne *g*.

Fig. 1.

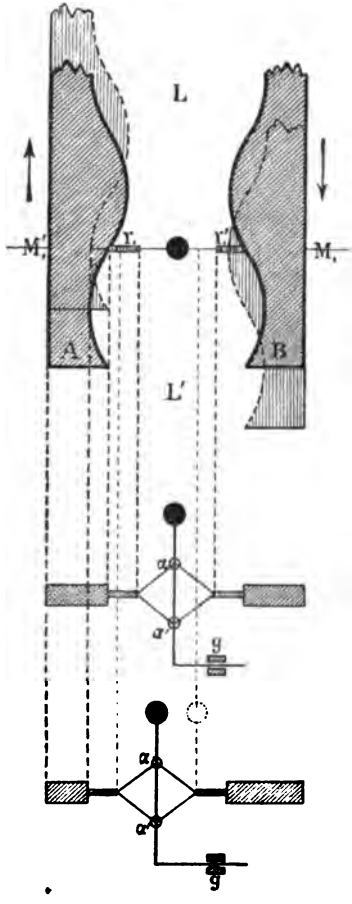


Ces explications sont suffisantes pour établir que, par le fait de la combinaison des mouvements inverses des deux règles, les boules seront alternativement toujours en repos ou toujours en oscillation. En déplaçant originairement l'une des règles par rapport à l'autre d'une quantité quelconque, on observe l'effet produit par un changement dans la phase dû au phénomène de la réflexion. Si l'on arme en outre chacune des baguettes elle-même d'une petite boule, on verra en même temps le mouvement vibra-

Digitized by Google

toire du rayon incident, celui du rayon réfléchi, et le phénomène des condensations et des dilatations aux ventres et aux nœuds sera frappant. Pour rendre l'appareil plus compact, il a paru

Fig. 2.

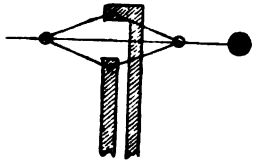


préférable de mettre les deux règles dans des plans parallèles (comme si la feuille de papier était ici pliée suivant la ligne médiane LL'), mais alors, l'une des baguettes étant droite, il faut que l'autre se termine en forme de potence, afin de rendre possible l'ajustement du parallélogramme articulé, comme le montre la *fig.* 3.

Digitized by Google

L'appareil définitif a été réalisé par M. Otto Lund, avec un talent et un soin sur lesquels je ne saurais trop insister et dont je me plais à le remercier ici bien vivement. L'habile constructeur,

Fig. 3.



pour rendre l'instrument plus commode à manier, a jugé convenable de substituer aux deux règles, dont la longueur et, par suite, le déplacement seraient par conséquent très limités, un système de deux bandes flexibles d'acier, ajourées, dont l'une est représentée *fig.* 4, et dont l'autre serait parallèle à celle-ci et en ar-

Fig. 4.

rière du plan de la figure. Chacune de ces bandes sans fin s'enroule sur deux cylindres C et D, dont l'un C armé de chevilles qui entrent dans de petits trous de la bande et rendent tout glissement impossible. Ce cylindre C est mis en rotation au moyen d'une manivelle et d'un engrenage conique, et la même manivelle entraîne le cylindre correspondant C′ de la seconde bande. D'ailleurs, pour un simple déplacement initial de cette manivelle, il est possible de donner aux deux profils sinusoïdaux un déplacement relatif, correspondant à une différence de phase de $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{2}$ longueur d'onde, et, par conséquent, de transformer instantanément, par exemple, les ventres en nœuds et réciproquement.

Digitized by Google

SÉANCE ANNUELLE.

RÉUNION DES MARDI 19, MERCREDI 20 ET JEUDI 21 AVRIL

à 8 heures très précises du soir.

Éclairage électrique des salles par la **Société Cance.**

Expériences de M. **Tesla** sur les *courants alternatifs de grande fréquence* et expériences de M. **Elihu Thomson** sur les *décharges à haute tension*, réalisées : 1° au moyen d'un *alternateur* mû par un moteur mécanique; un premier transformateur, un condensateur et un deuxième transformateur à grand isolement, à l'huile. Illumination des tubes à vide; fluorescence; aigrettes lumineuses; constitution d'un champ électrique de grande étendue. — 2° Au moyen d'une *bobine de Ruhmkorff ordinaire* actionnée par un courant continu (accumulateurs) et un trembleur; avec condensateur. *Transformateur à grand isolement, à l'huile.* Effets ci-dessus sur une petite échelle, *expériences classiques.* Effets physiologiques montrant le caractère inoffensif des courants alternatifs de haute tension et de très grande fréquence. Appareils classiques construits par **E. Ducretet**..... **M. d'Arsonval.**

Condensateur en mica argenté de M. Bouty. — Condensateur à air, $\frac{1}{100}$ microfarad. — Condensateur étalon de $\frac{1}{1000}$ à 1 microfarad. — Condensateur étalon de $\frac{1}{100}$ à 1 microfarad. — Volts-mètres de précision. — Résistance de 1 ohm pour supporter un courant de 2 ampères. — Résistance de $\frac{1}{10}$ ohm pour supporter un courant de 8 ampères. — Résistance de $\frac{1}{100}$ ohm pour supporter un courant de 100 ampères. — Résistance de $\frac{1}{1000}$ ohm pour supporter un courant de 1000 ampères. — Volts-mètres sans aimant pouvant servir pour les courants alternatifs. — Table de graduation pour volts et ampères. — Appareil pour la détermination des points nodaux des objectifs photographiques. — Photojumelle Carpentier. — Châssis positif amplificateur..... **M. Carpentier.**

Appareil classique pour les expériences de MM. Tesla et E. Thomson, sur les *courants alternatifs de grande fréquence* et les décharges *à haute tension.* — Machine *ma-*

Digitized by Google

gneto-électrique, classique, donnant des *courants continus* et *triphasés.* — Rotations à l'intérieur d'un anneau Gramme triphasé. — Machine *dynamo-électrique,* à courants *continus* et *triphasés;* modèle classique. — *Moteur* pour courants triphasés ci-dessus. — Expériences d'**Elihu Thomson**, *rotations;* modèles classiques, avec une petite machine *à courants alternatifs* de **Siemens**. — *Trembleur rapide* de E. D., nouveau modèle appliqué à une *bobine de Ruhmkorff,* types des moteurs à gaz. — *Trembleur rapide* E. D., indépendant des bobines. — *Tableau de distribution* de E. D., pour dynamos, destiné à obtenir, dans les limites les plus étendues, le courant électrique convenable aux projections et à toutes les expériences du cours de Physique et des laboratoires. — *Conjoncteur-disjoncteur* de M. **Féry**, pour la charge des accumulateurs. — *Régulateur* **Serrin**, nouveau modèle E. D. à point lumineux fixe, *pour les projections.* — *Petit transformateur secondaire,* pour courants *alternatifs.* Modèle classique démontable. — Transformateur *pour courants continus;* à double anneau de Gramme. — Grande machine de **Wimshurst**, à quatre plateaux, modèle des cabinets de Physique et médical, avec nouveaux *ozoneurs* de M. le Dr **O. Jennings**. — *Galvanomètre* **Thomson**, simple et double; modèles de E. D. avec amortisseur à air. — *Electromètre* **Palmieri**, avec isolant *pécite.* — Boussoles des tangentes; deux modèles pour mesures précises. — Appareil de M. **Gruey**; modèle permettant la réalisation d'une série d'expériences *sur les rotations gyroscopiques.* — Eclairage oxyhydrique, *de grande intensité* et de longue durée obtenu avec des *bâtonnets en zircone,* montés, en forme de grillage, dans un cadre en platine, nouveau modèle de E. D., permettant le remplacement immédiat des bâtonnets; ils y sont tous de même dimension et interchangeables..... **M. E. Ducretet.**

Dispositif de la méthode téléphonique pour l'étude de la propagation des ondes électriques ..... **M. R. Colson.**

Appareil des sept miroirs, modèle de M. **Le Roux**. — Appareil des spectres croisés, modèle de M. **Le Roux**. — Pyromètre optique de M. **H. Le Chatelier**. — Appareil de Cours, de M. **Weiss**, pour l'ombre pupillaire. — Lampe type à acétate d'amyle de M. le général **Sebert**. — Petite lanterne spéciale pour les temps de pose (essai des plaques photographiques). Appareil oxyéthérique pour lumière. — Chalumeau modifié pour lentilles de magnésie remplaçant la chaux. — Spectrophotomètre de M. **d'Arsonval**. — Spectromètre de M. **Yvon**. — Appareil photographique de M. **Yvon** pour spectres. — Appareil de M. **Mascart** pour projection des franges produites par deux prismes au contact. — **Expériences** : Appareil pour montrer les divisions qui

Digitized by Google

existent dans un filet d'eau. — Nouvel appareil pour l'état sphéroïdal de l'eau. — Pyromètre à projection. — Expériences diverses..... M. **Ph. Pellin.**

Éolipyle à régulateur étanche. — Éolipyle à réservoir indépendant. — Perfectionnements au galvanocautère de 1875. — Chalumeau à essence. — Foyer lumineux fait de fils de platine et demeurant incandescent au milieu de l'eau. — Applications de ces différents instruments à la pyrographie. — Spécimens de dessins et de peinture au feu..... M. **Paquelin.**

Spécimens de pyrogravure..... M. **Manuel-Perrier.**

Appareil destiné à montrer les effets de la superposition d'une onde directe et d'une onde réfléchie (construit par M. **Lund**)..... M. **Izarn.**

Séries de photolithographies de spectres de métaux obtenues à l'aide de réseaux de Rowland..... M. **Mac Clean.**

Expériences sur la conductibilité des isolants..... M. **E. Branly.**

Chronographe électro-balistique..... M. **W. Schmidt.**

Appareil nouveau pour l'enregistrement photographique des courbes périodiques des courants alternatifs..... M. **Blondel.**

Abaques pour l'aplanétisme et l'achromatisme..... M. **A. Broca.**

Radiomètres à une ailette et à plusieurs ailettes pour les expériences du P. **Leray** sur la théorie cinétique des gaz. Thermomètre de M. **V. Chabaud** à renversement, pour mesurer les températures de la mer à diverses profondeurs. — Baromanomètre de M. **Leduc.** — Appareil permettant d'obtenir des points d'ébullition sous pressions déterminées. — Ebullio-Correcteurs. — Trompe à mercure de M. **Schlœsing** avec disposition de M. **Verneuil.** — Electromètre de M. Lippmann, modèle de M. **Berget** pour laboratoire. — Appareil de Cours de M. **Bastide** pour montrer les principales propriétés des gaz et des vapeurs..... M. **V. Chabaud.**

Appareil pour l'étude stroboscopique des courants alternatifs. — Condensateur étalon à lame d'air. — Coupleur de laboratoire pour douze accumulateurs. — Expérience de Ferraris sur le champ magnétique tournant. — Expériences de M. **Elihu Thomson** et de M. **Tesla**..... M. **P. Janet.**

Digitized by Google

Modèle d'appareil à stérilisation pour les instruments de chirurgie (construit par **A. Adnet**)..... M. **F. Mally**.

Baromètre enregistreur..... M. **H. Sentis**.

Enregistreur de hauteur d'eau, pour déversoir, muni d'un intégraphe totalisant le nombre de mètres cubes d'eau déversée. L'appareil intègre la formule $Q = (\mu lm\sqrt{2gh}) \times t$. — Galvanomètre **Deprez-d'Arsonval**, avec enregistreur photographique. — Galvanomètre **Deprez-d'Arsonval**, avec enregistreur direct. — Voltmètre enregistreur à courants continus et alternatifs sans self-induction. — Ampèremètres et voltmètres divers. — Enregistreur différentiel pour machine à essayer les métaux à la traction. — Baromètre et thermomètre enregistrant leurs variations sur un même papier, marchant deux mois sans se remonter, construit pour l'Observatoire de l'Etna. — Chercheur électrique permettant de connaître à distance les indications d'un appareil quelconque. — Transmetteur et récepteur électrique à cadran, système à trois fils..... MM. **Richard** frères.

Appareil pour l'analyse des alcools et tous mélanges liquides par roulement de gouttes..... M. **E. Gossart**.

Homéotrope de M. **Gossart**. Électromètre **Cottrell**. — Électromètre Debrun modifié et disposé pour la projection. — Appareil de M. **Garnault**, pour l'expérience d'Ampère. — Acidimètre électrique de MM. **R.** et **A. Collette**. — Commutateur interrupteur sans résistance de M. **Rouland**. — Compas à repère lumineux de M. **Leplay**. — Colorimètre **Pellet**..... M. **Demichel**.

Expérience sur le mouvement brownien. — Expérience de démonstration sur les phénomènes électro-capillaires..... M. **Gouy**.

Projections polychromes à l'aide de trois photographies non colorées (projections par M. **Molteni**)..... M. **Vidal**.

Photographie du spectre par la méthode de M. **Lippmann**... MM. **Lumière**.

Appareil pour la solidification des liquides par la pression... M. **Amagat**.

Nouveau galvanomètre d'**Arsonval-Gaiffe**..... M. **Gaiffe**.

Rubis artificiels. — Verres d'optique..... M. **E. Mantois**.

Digitized by Google

Appareil donnant les courbes représentatives de la combinaison de deux mouvements de rotation de machines.... M. **Hirsch**.

Machine électrique à écoulement de mercure. Cyclostat de M. **Thury**..... M. **Peignot**.

Balance de précision..... ... M. **P. Curie**.

Hématoscopes. — Hématospectroscopes. — Opthalmospectroscopes. — Uroscope. — Perfectionnements et dispositifs nouveaux de ces appareils de spectroscopie biologique (construit par M. **Lutz**)..... M. **A. Hénocque**.

Nouvel appareil de projection à la lumière électrique oxhydrique ou au pétrole. — Spectroscopes de laboratoire. — Prismes de Nicol de différentes dimensions. Rhomboèdres de spath..... M. **E. Lutz**.

Fontaines lumineuses à couleurs et aspects changeants; fontaine lumineuse de démonstration pour Cabinet de Physique. — Fontaine d'appartement. — Fontaine de surtout de table. — Grandes fontaines d'appartement automatiques, à gerbes multiples et multicolores, fonctionnant sur canalisation d'eau et d'électricité urbaine ou privée. — Dynamomètre universel à lecture directe et permanente du travail se montrant en absorption comme en distribution. — Télétactomètre à indications multiples et simultanées. Dernier modèle du photophore électrique **Hélot-Trouvé**. — Polyscopes électriques industriels. — Orygmatoscope pour l'inspection des trous de sonde. — Petits moteurs électriques pour appareils enregistreurs. — Pneumomoteur à transmission à distance du mouvement rotatif de sens quelconque..... M. **G. Trouvé**.

Banc d'optique destiné aux Lycées, Collèges et établissements d'instruction. — Série de verres présentant les combinaisons les plus usitées des surfaces sphériques, cylindriques et toriques. — Série de prismes..... MM. **F. Benoist**, **L. Berthiot** et Cie.

Poêle thermo-électrique avec conjoncteur-disjoncteur de M. **Féry** (construit par M. **Besson**)..... M. **Giraud**.

Photographies des dégâts produits par la trombe de Dreux. — Carreaux perforés par la foudre..... M. **Teisserenc de Bort**.

Épreuves photomicroscopiques..... M. **Raymond**.

Digitized by Google

Balances munies de l'appareil lumineux pour pesées rapides. — Balance à fléau court, double cage et nouveau système de cavaliers.....	M. **A. Collot.**
Obus calorimétrique (construit par M. **Golaz**).....	M. **Mahler.**
Réfractomètre de **Pulfrich** appartenant au.....	**Laboratoire d'Enseignement de la Sorbonne.**
Principaux types des piles du Commandant **Renard** : Pile portative actionnant une lampe de vingt bougies. — Petite pile portative actionnant une lampe de vingt bougies placée sur un chandelier pour bureau. — Pile de laboratoire actionnant un moteur-ventilateur. — Pile de laboratoire actionnant un moteur qui commande une machine statique. — Pile à plongement actionnant une bobine de Ruhmkorff.	MM. **Roy** et **Hottot.**
Compteur d'électricité, modèle moyen de 50 ampères.....	M. **L. Desruelles.**
Compteur automatique de consommation de courant système de M. **Laille**.....	Mme Ve **Picard.**
Travaux pratiques des élèves de 3e année.....	**École de Physique et de Chimie.**
Modèles cristallographiques pour l'enseignement. — Pyroscopes fusibles pour mesurer les hautes températures. — Vase de chlore liquide résistant à 50^{atm} et contenant $4^{kg},500$ de chlore, les robinets permettant de prendre à volonté le gaz ou le liquide. — Nouvelle lampe au magnésium pour la Photographie.....	MM. **Fribourg** et **Hesse.**
Goniomètre grand modèle avec collimateur de M. **Mallard** pour la mesure des angles des cristaux et les indices de réfraction. — Goniomètre moyen modèle de M. **Mallard** avec dispositif de M. **Wyrouboff**. — Goniomètre petit modèle avec collimateur système de M. **Mallard**, avec dispositif de M. **A. Picart**; dans ce modèle toutes les parties sont fixées ainsi que la lampe à gaz sur un socle en chêne pour laboratoires de Minéralogie et de Chimie. — Microscope polarisant, petit modèle, de **A. Picart**. — Spectroscope, petit modèle, de **A. Picart**, avec lunette viseur, collimateur, micromètre transparent, petit prisme de comparaison.....	M. **A. Picart.**
Deux modèles d'appareils servant à contrôler la planéité d'une surface au moyen d'un plan type. — Surfaces planes. — Lunette verticale autocollimatrice, servant à contrôler et à exécuter deux surfaces parallèles. — Lunettes horizon-	

Digitized by Google

tales autocollimatrices pour contrôler et exécuter les surfaces perpendiculaires, etc. — Goniomètre optique de précision pour l'exécution des prismes de précision. — Cercle divisé pour la mesure des angles dièdres. — Types d'angles dièdres exacts. — Divers modèles de foco-aberromètres, servant à un nombre d'expériences les plus variées sur la mesure des courbures des surfaces, leurs combinaisons, leurs qualités optiques, etc..... **M. L. Laurent.**

Machine à coudre actionnée par un moteur électrique. — Pompe centrifuge actionnée par un moteur électrique. — Eventail électrique rotatif. — Allume-cigares. — Indicateur de terres sur réseau alternatif à 2000 volts. — Balance électrique. — Disjoncteur automatique. — Coupe-circuit magnétique. — Interrupteur bipolaire à allumage et extinction rapides. — Moteur électrique avec meule émeri. — Voltmètre forme carrée. — Série de nouveaux interrupteurs et prises de courant en marbrite. — Photographies..... **Cie continentale Edison.**

Nouvelle pile Flavien-Poudroux..... **M. P. Rousseau.**

Balance de précision à pesées rapides..... **M. V. Serrin.**

Condensateur étalon à anneau de garde (construit par M. **Werlein**)..... **M. Abraham.**

Appareil à mesure rapide. — Appareil de M. **Aubert** destiné à puiser de faibles quantités de gaz dans un milieu quelconque métronome discontinu de M. **Ch. Henry**. — Sapomètre de M. **Ch. Henry**. — Nouveau régulateur de mercure pour haute température..... **M. G. Berlemont.**

Appareil ozoneur et petit moteur à gaz..... **M. J. Guenet.**

Horloges et pendules électriques..... **M. Carrier.**

Digitized by Google

Sur les effets physiologiques de l'état variable en général et des courants alternatifs en particulier; par M. le Dr A. d'Arsonval.

Je désire appeler votre attention, Messieurs, sur un sujet d'actualité : les effets physiologiques des courants alternatifs, et tirer, s'il est possible, quelques conséquences pratiques de cette étude. L'électricité révolutionne actuellement non seulement l'industrie, mais aussi quelque peu la Médecine, et, si elle tue parfois, elle est plus souvent encore un agent de guérison. Elle a sur les médicaments pharmaceutiques le grand avantage d'être toujours inoffensive, à doses thérapeutiques, et présente dans son mode d'emploi une élasticité dont sont dépourvus ces derniers.

On dit souvent que l'action d'un médicament dépend en grande partie de la façon dont il est administré ; cette notion devient un axiome quand il s'agit de l'électricité. Suivant qu'on donne à l'énergie électrique telle ou telle modalité physique, on peut produire les effets les plus divers, et même les plus opposés, sur les êtres vivants. Au point de vue tout spécial où nous nous plaçons ici, on peut établir une division fondamentale des effets de l'électricité suivant qu'on emploie *l'état variable* ou *l'état permanent* du courant.

Cette distinction, admise par tous les physiologistes, s'impose également en Électrothérapie et se justifie par l'examen même le plus superficiel. L'état variable, sur un être vivant, se traduit par une excitation très violente des nerfs et des muscles qui entrent en contraction, tandis que rien d'analogue ne se manifeste dans l'état permanent si l'on emploie un courant de force modérée.

Une expérience très élégante de Claude Bernard met bien ce fait en lumière. On place dans le circuit d'une pile une roue interruptrice de Masson, un voltamètre et une grenouille préparée à la Galvani. En laissant la roue immobile on fait passer le courant de la pile à travers les trois appareils à la fois ; le voltamètre dégage des gaz, la patte de grenouille reste immobile. On a les effets du courant permanent. Si l'on vient à mettre la roue de Masson en mouvement, le dégagement gazeux cesse presque complètement dans le voltamètre tandis que la patte de grenouille entre en con-

Digitized by Google

traction violente. Le courant qui la traverse est pourtant plus faible que dans le premier cas, mais on a les effets physiologiques dus à l'état variable. Cette simple expérience nous montre que les effets physiologiques du courant (action sur la sensibilité et la motricité) ne sont nullement sous la dépendance de son intensité absolue.

Si, au contraire, le courant est très fort, on peut avoir des manifestations extérieures durant l'état permanent, mais ces manifestations tiennent uniquement dans ce cas à l'électrolyse interstitielle des tissus et à la décomposition qui a lieu *dans toute leur masse,* ainsi que l'ont bien mis en évidence les expériences récentes de M. Weiss. On peut dire que, dans ces conditions, ce n'est pas l'électricité qui agit, mais bien les produits chimiques libérés par le passage du courant, dans l'intimité même des tissus. On a affaire à un simple excitant chimique engendré par l'électricité sur son passage et dépendant uniquement de l'intensité du courant, conformément aux lois de Faraday.

C'est sur cette action particulière que Ciniselli et surtout notre collègue le Dr A. Tripier ont fondé une branche importante de l'Électrothérapie; je veux parler de l'électrolyse ou cautérisation et destruction potentielle des tissus vivants par le courant continu.

Pour doser les effets du courant permanent sur les êtres vivants, nous avons un moyen simple. Puisque son action dépend uniquement de l'intensité, il suffira donc de mesurer cette dernière avec un galvanomètre. Quant à ses effets locaux, aux points d'entrée et de sortie, ils dépendent également de l'intensité par unité de surface, c'est-à-dire de la *densité*. D'après cela, les divers expérimentateurs se mettront dans des conditions physiquement définies en employant des galvanomètres gradués en unités absolues. Ces appareils ont été répandus en France, dans le public médical, dès 1873, par A. Gaiffe, et leur adoption est devenue générale depuis le Congrès de 1881 sur la proposition que j'en ai faite avec M. Marey à la Commission internationale d'Électrophysiologie (1). Les observations médicales y ont gagné en précision et en unité.

---

(1) *Voir* D'ARSONVAL, *Compte rendu de la Commission d'Électrophysiologie* (*Revue scientifique*) et Rapport de M. DU BOIS-REYMOND (même recueil): 1881.

Digitized by Google

Si nous savons à quelles conditions physiques rapporter les effets physiologiques de l'état permanent, si nous pouvons surtout aisément les mesurer, il n'en est pas de même pour l'état variable. Par quel facteur devrons-nous définir la puissance physiologique d'une excitation électrique? Cette importante question a été agitée en 1881 au Congrès d'Électrophysiologie, mais ne put donner lieu alors qu'à un échange de vues plus on moins hypothétiques : la base expérimentale manquait. C'est depuis cette époque que j'entrepris une série d'expériences systématiques sur ce sujet qui intéresse non seulement la Physiologie, mais qui doit servir de base à l'Électrothérapie. Pour l'intelligence de ce qui va suivre, je vous demande la permission de résumer brièvement devant vous les méthodes que j'ai employées à cet effet et les conclusions auxquelles j'ai été conduit.

Au *point de vue physiologique*, une excitation électrique produite par l'état variable ne peut être définie par les données servant de mesure à l'état permanent. Pour en faire une analyse complète, il faut connaître *tous* les éléments *à chaque instant de la variation*. Cela revient à dire qu'il faut avoir la courbe complète de la variation, c'est-à-dire la *forme physique de l'onde électrique* d'excitation. C'est cette courbe particulière à chaque excitation électrique que j'ai appelée : *la caractéristique de l'excitation*. Mais, pour tracer cette courbe en fonction du temps, quelle variable devrons-nous prendre? *A priori*, ce ne peut être l'intensité, en vertu même de l'expérience de Claude Bernard relatée plus haut. Il est facile, d'autre part, de montrer que c'est la variation du potentiel *au point excité* qui est le facteur important dans l'excitation du système nerveux. Prenons un nerf moteur relié à une masse musculaire dont nous pourrons enregistrer les mouvements à l'aide du myographe. Excitons ce nerf *en un point quelconque de sa longueur* au moyen du pôle *négatif* d'une pile thermo-électrique dont le pôle *positif* sera relié à la masse musculaire (excitation unipolaire de Chauveau). La contraction du muscle restera sensiblement la même *quel que soit le point du nerf que l'on excite*. A cause de l'énorme résistance du nerf (10 à 25000 ohms pour le nerf sciatique de la grenouille) comparée à celle de la pile qui est négligeable, le potentiel aux points excités successivement sera resté constant, mais l'intensité

Digitized by Google

du courant traversant le nerf, à chaque contact, aura varié dans d'énormes proportions. On peut faire l'expérience inverse, c'est-à-dire exciter le nerf à *intensité constante* en faisant varier la force électromotrice de la pile proportionnellement à la longueur du nerf intercalé. Dans ce cas, l'énergie de la contraction musculaire augmente avec le potentiel au lieu de rester constante comme l'intensité (1). Ces deux expériences qui se complètent et se contrôlent mutuellement montrent d'une manière très nette que, pour tracer la caractéristique d'excitation, il faut prendre $e = f(t)$ et non pas $i = f(t)$.

Au début de mes expériences (octobre 1881), je cherchai à tracer l'onde électrique provenant des électromoteurs généralement employés en Physiologie. Je rencontrai des difficultés insurmontables et je renonçai très vite à procéder par *analyse* pour opérer au contraire par *synthèse*.

Pour réaliser la synthèse d'une onde électrique de forme quelconque, j'imaginai la méthode suivante (2) qui me donna pleine satisfaction; le schéma ci-joint est destiné à faciliter l'intelligence de la description, mais il ne doit être considéré que comme un simple dessin schématique donnant le principe de la méthode (*fig.* 1). Soit P une source constante d'électricité (accumulateurs) dont le circuit est fermé au travers d'une colonne liquide de sulfate de cuivre en solution saturée contenue dans un tube de verre. Le courant entre par le bas et ressort par le haut au moyen de contacts en cuivre rouge. L'autre pôle est mis à la terre et se trouve au potentiel zéro. La partie supérieure de la colonne liquide est, au contraire, à un potentiel négatif de 2, 3 ou 10 volts à volonté. Le potentiel décroît régulièrement le long du tube d'après une loi bien connue. Supposons qu'un fil métallique P′ en cuivre, isolé jusqu'à sa pointe inférieure, puisse monter et descendre le long de la colonne. Si nous supposons la pointe au fond du tube, le potentiel est zéro; mais, en relevant le fil, son potentiel va croître régulièrement. Attachons rigidement ce fil à l'extrémité d'un levier mobile autour du point L, l'autre extrémité

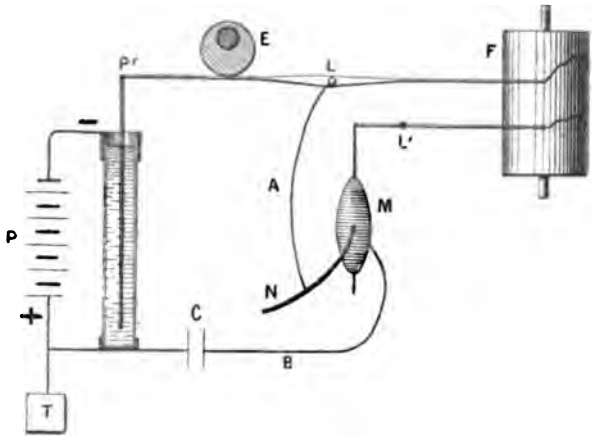
(1) L'idée de cette dernière expérience m'a été suggérée par un des auditeurs assidus de mon Cours au Collège de France, M. le Dr Rozier.

(2) Voir *Comptes rendus de la Société de Biologie*, 1er avril 1882.

Digitized by Google

se déplaçant le long d'un cylindre enfumé F. Il est facile de voir que les déplacements de la pointe du levier L sur le cylindre F inscriront les phases et les grandeurs de la variation du potentiel du fil plongeur P'. Pour avoir une courbe déterminée d'avance, je fais osciller le levier L par la rotation d'un excentrique E, dont on taille le profil en conséquence. En pratique, j'attache le fil P' soit

Fig. 1.



à une tige vibrante, soit à un pendule qui donne une variation sinusoïdale du potentiel. J'obtiens toute autre forme et toute vitesse en attachant ce fil à un ressort plus ou moins tendu (fil de caoutchouc) que je déclenche mécaniquement pour produire l'excitation. Si le fil A' était mis simplement en rapport avec le nerf N communiquant à la terre, cet organe serait parcouru par un courant continu qui en modifierait l'excitabilité. J'évite cet inconvénient en faisant passer le courant dans le primaire d'une bobine d'induction ou bien en intercalant un condensateur étalonné en C. Le muscle M, excité par le nerf N, est attaché au levier myographique L', qui trace la courbe de la contraction musculaire au-dessous de la caractéristique d'excitation, tracée par le levier L. Dans la méthode unipolaire, le pôle négatif de la pile correspond au plongeur et le pôle positif est à la masse musculaire, à la façon habituelle. De cette manière, le levier L enregistre exactement les variations du potentiel au point excité et le nerf ne peut se polariser.

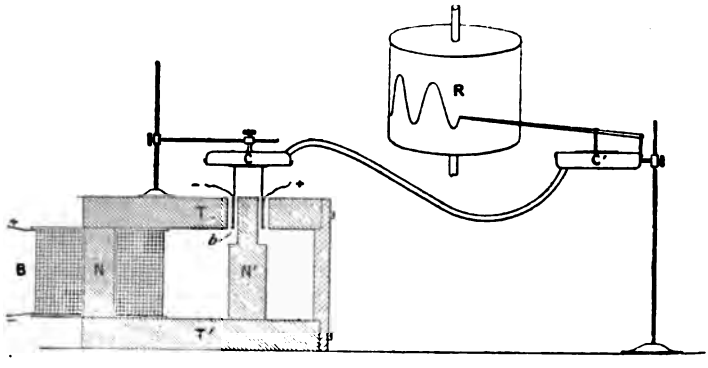
Digitized by Google

Ces expériences m'ont amené à formuler la loi suivante : *L'intensité de la réaction motrice ou sensitive est proportionnelle à la variation du potentiel au point excité* (¹).

La conséquence pratique de toutes ces expériences, dont je ne peux indiquer ici que la conclusion générale, est que pour définir l'action physiologique et thérapeutique d'un appareil électromédical quelconque, à courant interrompu, il faut connaître, en fonction du temps, la loi de variation de la force électromotrice *aux points d'application des électrodes* sur le sujet. Je vous présente un appareil que j'ai imaginé dans ce but.

Il permet de tracer automatiquement cette courbe en employant comme source d'électricité un appareil médical magnéto-faradique quelconque à faible fréquence. Il est fondé sur le même principe que le galvanomètre à circuit mobile que j'ai fait connaître en 1881, avec M. Marcel Deprez, et dont l'emploi s'est généralisé depuis en Électrométrie, et se substitue actuellement en Électrothérapie aux galvanomètres à aiguille aimantée (*fig.* 2). Il se com-

Fig. 2.



pose d'un puissant aimant (ou électro-aimant) TT'NN' créant un champ magnétique annulaire comme dans mon téléphone. Dans ce champ peut osciller une légère bobine *b* parcourue par l'onde électrique dont on veut inscrire la forme. En vertu d'une action

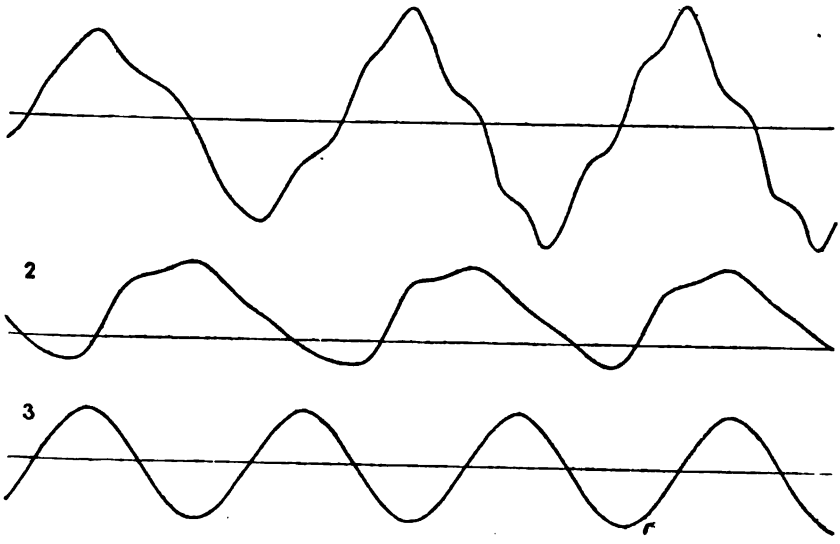
(¹) *Voir* D'ARSONVAL, *Société de Biologie*, 1er avril 1882 ; — *Société de Physique*, 1885 et 1891 ; — *Lumière électrique*, 1887 ; — *Archives de Physiologie*, 1889 ; — *Académie des Sciences*, 1891 ; — *Société française d'Électrothérapie*, 1891.

Digitized by Google

bien connue, cette bobine se déplacera dans le champ et son déplacement mesurera à chaque instant les variations du courant qui la traverse. Pour inscrire à distance ce déplacement et l'amplifier en même temps, la bobine est suspendue à la membrane de caoutchouc d'un tambour de Marey *c*. Ce premier tambour est relié à un second tambour amplificateur plus petit *c'* portant un levier inscripteur se déplaçant sur un cylindre enfumé R, mû par un mouvement d'horlogerie.

L'instrument constitue un galvanographe très sensible inscrivant à distance par le mécanisme bien connu des tambours à air de Marey employés en Physiologie. On obtient ainsi automatiquement la courbe de l'onde électrique émanant de l'électromoteur employé et l'on peut comparer facilement entre elles les différentes machines. Voici, à titre d'exemple, trois courbes provenant de trois appareils différents (*fig.* 3). La première provient d'une

Fig. 3.

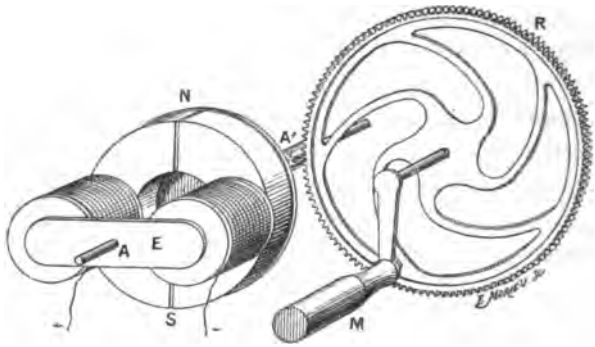


petite machine magnéto, genre Clarke (modèle médical de Gaiffe), à courants non redressés. On voit que la variation n'est pas uniforme. La seconde provient d'une machine analogue, mais à courants redressés (on voit qu'ils le sont incomplètement). Enfin, la troisième courbe (qui est très régulière) provient d'une petite

Digitized by Google

machine médicale que j'ai imaginée pour avoir un courant dont la variation soit sinusoïdale. C'est une machine, genre Pixii, modifiée de la façon suivante (*fig.* 4). Un aimant circulaire NS se meut devant un électro-aimant fixe E, autour d'un axe AA' commandé par la roue dentée R et la manivelle M. On recueille ainsi

Fig. 4.



aux fils marqués + et — le courant représenté par la courbe 3 de la *fig.* 3. Ce courant sinusoïdal, à variations régulières, jouit de propriétés précieuses, comme je le dirai tout à l'heure. Il a l'avantage de ne donner aucun choc brusque, d'amener graduellement le tétanos du muscle (suivant la rapidité de la rotation) sans douleur, et son passage ne s'accompagne d'aucun phénomène d'électrolyse. Dans cette forme de courant alternatif, tout est connu; on peut opérer toujours dans les mêmes conditions, contrairement à ce qui a lieu avec les appareils d'induction à trembleur, dont les effets varient non seulement de l'un à l'autre, mais aussi pour le même appareil suivant les caprices de l'interrupteur et de la pile qui le met en vibration.

Au point de vue de la pratique médicale, j'ai été conduit à étudier tout spécialement les excitations électriques produites par les courants alternatifs à variation sinusoïdale.

Dans ce cas, l'onde électrique est définie par deux facteurs : 1° la fréquence, c'est-à-dire le nombre d'alternances par seconde; et 2° l'ordonnée maxima qui représentera pour nous la variation maxima du potentiel au point excité.

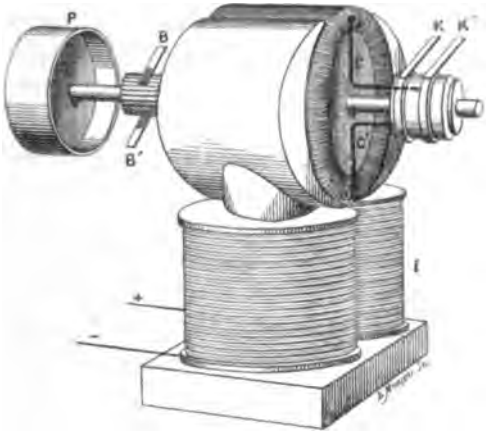
Dans la pratique médicale, il est nécessaire de pouvoir faire va-

Digitized by Google

rier ces deux facteurs d'une manière indépendante et d'en avoir la mesure à chaque instant. Le dispositif ci-dessous est destiné à résoudre pratiquement ce problème.

Soit CC′ un anneau Gramme portant d'un côté de l'axe le collecteur ordinaire avec ses balais B, B′ et de l'autre côté deux bagues métalliques isolées K, K′, communiquant respectivement avec chaque moitié de l'anneau par deux prises de courant situées sur l'induit à 180°. L'anneau tourne dans un champ magnétique créé par un courant indépendant traversant l'inducteur I par les fils marqués + et —. Si l'on met l'anneau en mouvement par une force mécanique extérieure, on recueillera aux balais B, B′ un courant continu et aux frotteurs K, K′ un courant alternatif à variations sinusoïdales.

Fig. 5.



En plaçant sur l'axe de la machine un indicateur de vitesse, on connaît à chaque instant la fréquence du courant. Quant à la force électromotrice maxima, elle est donnée tout aussi simplement et d'une manière continue par un voltmètre ordinaire à courant continu, relié aux deux balais B, B′.

On fait varier la fréquence en changeant la vitesse de rotation et la force électromotrice en modifiant le champ magnétique créé par l'électro. Dans le modèle construit sur mes indications par M. Gaiffe, l'inducteur est constitué par un aimant permanent qu'on approche plus ou moins des épanouissements polaires pour modifier le champ. Le voltmètre donne aussitôt la valeur de l'ordonnée

Digitized by Google

maxima et l'indicateur de vitesse, la fréquence. Les deux éléments de la sinusoïde sont donc connus à chaque instant et l'opérateur leur donne la valeur qu'il désire. Je ferai remarquer qu'en amenant un courant continu, provenant d'une pile, par exemple, aux balais B, B′, on recueillera en KK′ un courant sinusoïdal. En mettant BB′ en communication avec un réseau à 110 volts continus, et en intercalant un rhéostat convenable, on recueillera en KK′ des courants sinusoïdaux dont le voltage pourra varier de 110 à 20 volts, par exemple, et avoir ainsi une installation très simple.

Les courants alternatifs, à variation sinusoïdale, ont sur l'organisme plusieurs actions intéressantes dont j'ai fait une étude spéciale que je résume brièvement dans cette Note. 1° En étalant la sinusoïde, on peut faire traverser l'organisme par des courants assez intenses, ne donnant ni douleur ni contraction musculaire, ni action chimique. Cette absence d'action physiologique n'est pourtant qu'apparente, car, si l'on analyse les gaz de la respiration, on constate que le passage de ce courant s'accompagne d'une augmentation dans l'absorption d'oxygène et dans l'élimination d'acide carbonique. 2° En augmentant la fréquence graduellement, on arrive à provoquer des contractions musculaires énergiques, mais qui sont infiniment moins douloureuses, à intensité égale, qu'en se servant d'une bobine d'induction. Cela tient à ce que les variations du courant se font d'une manière parfaitement régulière avec l'appareil que je viens de décrire. Dans ces conditions, les combustions respiratoires s'exagèrent considérablement et ces courants agissent puissamment pour modifier la nutrition. Un certain nombre d'électrothérapeutes, et notamment MM. Gautier et Larat, en appliquant à la clinique ces données physiologiques, ont obtenu des résultats très intéressants qu'ils ont signalés en partie à l'Académie. L'expérience ayant démontré le bénéfice que la thérapeutique peut tirer de l'électrisation sinusoïdale, le dispositif que j'indique aujourd'hui a pour but de produire et de doser facilement ce genre de courants.

J'arrive maintenant aux expériences que j'ai instituées pour comparer les effets sur la nutrition (effets trophiques) des divers modes d'électrisation (1).

---

(1) *Voir* D'ARSONVAL, *Cours de Médecine du Collège de France, Applica-*

Digitized by Google

Pour constater ces effets, je me suis adressé à des phénomènes objectifs facilement mesurables. J'ai mesuré, d'une part, les variations d'absorption de l'oxygène et de production de l'acide carbonique, et, d'autre part, les variations de la *production* de la chaleur (calorimétrie animale) au moyen de procédés spéciaux que j'ai fait connaître antérieurement (voir *Société de Biologie*, 1877).

J'ai étudié successivement l'action trophique : 1° du bain statique; 2° de la faradisation générale; 3° du courant continu; 4° du courant alternatif sinusoïdal.

1° Pour le bain statique, je ferai remarquer d'abord que cette dénomination est impropre. L'électricité n'est nullement à l'état statique ou de repos, chez un sujet placé sur le tabouret isolant et en communication avec une machine en fonction. Le corps du sujet est parcouru par un courant constant, à très haut potentiel, qui s'échappe de lui à travers l'air comme circuit extérieur. L'intensité de ce courant, quoique faible, n'est nullement négligeable, comme le prouvent les nombres suivants tirés d'une de mes expériences. Le sujet placé sur le tabouret était à un potentiel négatif d'environ 30000 volts et était traversé par un courant continu de $\frac{1}{25000}$ à $\frac{1}{40000}$ d'ampère venant de la machine (Holtz à 4 plateaux).

Le terme de *franklinisation* qu'on a déjà proposé pour ce genre d'électrisation me paraît préférable, car il ne préjuge rien.

Mes expériences ont porté sur l'homme et sur les animaux. Sous l'influence de la franklinisation, il y a constamment une légère augmentation des combustions respiratoires, et cela en dehors de l'action de l'ozone, car on n'obtient rien de semblable en plaçant le sujet dans le voisinage de la machine, mais sans le mettre en rapport avec elle.

Lorsque les animaux sont enfermés dans une atmosphère chargée d'air électrisé, les échanges respiratoires sont, au contraire, abaissés, ce qui tient, comme je l'ai indiqué en 1891 à la *Société de Biologie*, à la production de produits nitreux par l'effluve ; produits qui diminuent rapidement la capacité respiratoire du

---

tions médicales de l'Électricité, 1889-1890 et 1890-1891; — *Société de Biologie*, 24 février 1891; — *Société française d'Électrotherapie*, mai-juin 1891.

Digitized by Google

sang, ainsi que me l'ont montré les analyses par la pompe à mercure.

2° Les courants faradiques généralisés amènent une contraction plus ou moins violente de tout le système musculaire. Il y a alors exagération des combustions, mais cela tient uniquement au fonctionnement du muscle. On peut arriver, en effet, par ce procédé à produire un véritable tétanos électrique qui amène la mort de l'animal par hyperthermie, ainsi que l'a montré M. Charles Richet notamment.

La faradisation généralisée très légère, ne s'accompagnant pas de tétanos, ni de contraction musculaire apparente, peut néanmoins modifier les échanges nutritifs et augmenter la production de chaleur, ainsi que je l'ai montré sur le muscle isolé (*Société de Biologie,* 1887). Les bains par faradisation généralisée légère, proposés par Tripier, peuvent donc être considérés comme un moyen d'augmenter les combustions respiratoires par excitation à la fois du système musculaire et du système nerveux sensitif.

3° A mon grand étonnement, le courant continu auquel on prête des effets trophiques spéciaux ne m'a rien donné ni sur l'homme ni sur les animaux. Je suis donc fondé à dire que ses effets trophiques *immédiats* sont nuls. Des analyses faites vingt-quatre et quarante-huit heures après la voltaïsation ne m'ont pas donné de résultats plus saillants au point de vue des combustions respiratoires. Si le courant continu n'agit pas pour modifier les échanges respiratoires, peut-être augmente-t-il les sécrétions cellulaires qui jouent un si grand rôle dans l'organisme, comme viennent de le montrer nos expériences avec M. Brown-Séquard. C'est une hypothèse récente de Tripier qui mérite examen.

4° Les résultats les plus frappants m'ont été donnés par le courant sinusoïdal, courant figuré par la courbe 3 de la *fig.* 3. Sous son influence, on peut augmenter instantanément de plus d'un quart les échanges gazeux respiratoires, *et cela en dehors de toute contraction musculaire* et en l'absence de phénomènes douloureux. J'ai obtenu les mêmes résultats sur les animaux et sur l'homme. Ces recherches, que j'ai fait connaître, en 1890, dans mes Leçons du Collège de France, et, en 1891, à la *Biologie* et à la *Société d'Électrothérapie,* ont engagé nombre d'électrothérapeutes à essayer la *voltaïsation sinusoïdale* en Thérapeu-

Digitized by Google

tique. Parmi eux, je peux citer MM. Tripier, Gautier, Larat, etc. MM. Gautier et Larat ont obtenu des effets thérapeutiques intéressants que j'ai communiqués à l'Académie de Médecine et à la Société de Biologie.

Je suis amené tout naturellement à présent à vous parler des dangers présentés par les courants alternatifs industriels, du mécanisme physiologique par lequel ils entraînent la mort et des moyens de remédier aux accidents qu'ils provoquent. J'ai déjà publié une partie des expériences que je vais vous rapporter (¹), mais je les ai complétées plus récemment en vue même de la Communication que j'ai l'honneur de vous faire. J'ai essayé comparativement un alternateur Gramme et un alternateur Siemens. A voltage égal, ce dernier est plus dangereux. En faisant passer le courant de la tête à la queue sur un animal, une différence de potentiel de 300 volts alternatifs amène généralement la mort chez le lapin et le chien quand l'intensité atteint 1 ampère environ avec l'alternateur Siemens; il n'en est pas de même avec l'alternateur Gramme. Cette différence est facile à expliquer d'après ce que nous avons vu plus haut. L'onde électrique de l'alternateur Siemens, dont l'induit ne contient pas de fer, est, en effet, beaucoup plus brusque, plus brutale, pourrait-on dire, que celle de l'alternateur Gramme. De là ses effets physiologiques plus accentués pendant la fermeture du courant. Il en est tout autrement à la rupture. Si l'on abandonne l'animal à lui-même après ce choc électrique, l'arrêt de la respiration persiste généralement et la mort est définitive. Cette mort pourtant n'est qu'*apparente,* car, si l'on pratique immédiatement la respiration artificielle à l'aide d'un soufflet et d'une canule introduite dans la trachée, l'animal revient à la vie au bout d'un temps variable, en présentant parfois des paralysies partielles qui disparaissent spontanément. Si l'on pratique la respiration artificielle au moment même où l'on applique le courant, l'animal manifeste de la douleur, mais sans perte de connaissance : on ne peut le tuer alors par ce même courant qui amenait précédemment la mort. Il y a pourtant une limite qui est atteinte lorsque le passage du courant, en produisant le tétanos de tous les muscles du corps, a amené

(¹) *Société de Biologie* et *Académie des Sciences*, 4 avril 1887.

Digitized by Google

un échauffement portant la température centrale au-dessus de 45°. L'animal meurt alors parce que la chaleur coagule les fibres musculaires du cœur, comme l'a montré Claude Bernard. La preuve en est qu'on peut continuer l'électrisation à la condition de refroidir artificiellement l'animal.

L'échauffement considérable du corps dans l'électrisation n'est nullement due, comme on le croit, à la résistance du corps s'échauffant comme un conducteur conformément à la loi de Joule. Dans la dernière électrocution faite en Amérique, par exemple, la température du supplicié a été trouvée de beaucoup au-dessus de la normale après la mort. On avait fait passer un courant de 3 ampères pendant cinquante secondes sous 1 500 volts, soit 4500 watts ou environ 1^{cal} par seconde. L'échauffement de ce fait n'eût pas donné plus de 50^{cal} à 60^{cal} pendant les cinquante secondes, ce qui, pour un homme du poids moyen de 75^{kg}, n'eût pas élevé sa température propre de 1° centigrade. La chaleur excessive amenée par l'électrisation est donc due uniquement à la contraction violente de tous les muscles. Cette chaleur excessive amène rapidement la coagulation de la fibre musculaire et la rigidité cadavérique par un phénomène semblable à celui qu'on observe chez les animaux forcés à la course ou fourbus, phénomène bien connu des chasseurs. La mort par le courant alternatif est donc due, d'une part, à l'arrêt de la respiration qui produit l'asphyxie et, d'autre part, à l'élévation de température due à la fois à l'asphyxie, comme l'a montré M. Brown-Séquard, et à la contraction violente et généralisée du système musculaire due à l'état variable du courant. Je ne saurais trop insister sur ce fait expérimental que les courants alternatifs industriels peuvent n'amener le plus souvent qu'une mort *apparente*, le retour à la vie étant généralement possible si la respiration artificielle est pratiquée *immédiatement*. Un *foudroyé* doit donc être traité exactement comme un *noyé*. Quand le choc électrique a été de courte durée (ce qui est généralement le cas), c'est l'arrêt de la respiration qui amène la mort comme dans la submersion : les contractions musculaires ont été alors de trop courte durée pour amener la coagulation des muscles par l'échauffement.

Ces expériences vous montrent que l'électrocution ne constitue nullement un progrès sur la décapitation. L'électrocution a l'avan-

Digitized by Google

tage, disent ses partisans, d'éviter l'effusion du sang. C'est très vrai, c'est un avantage, oui, mais pour l'exécuteur et les témoins seulement. Quant au supplicié, rien ne prouve qu'il perde la conscience au moment où l'on établit le courant homicide. L'animal électrisé la conserve, comme je vous l'ai dit plus haut, si l'on pratique la respiration artificielle en même temps; et, quand l'exécution est faite, la mort n'est peut-être qu'apparente; qu'est-ce qui prouve que la respiration artificielle ne ramènerait pas le supplicié à la vie? Oserait-on la pratiquer? Les médecins américains ont raison de faire immédiatement l'autopsie, c'est plus prudent. Avec l'électrocution, qu'est-ce qui empêche, d'autre part, de simuler une exécution? Les philanthropes de l'État de New-York ont trouvé notre guillotine barbare; elle a au moins l'avantage de supprimer brusquement le moi en tranchant le nœud vital, et, jusqu'à présent, comme le disait Loye, « le public n'a pas idée que nous puissions simuler une exécution en rappelant, après coup, le supplicié à la vie ».

Que deviennent les effets physiologiques de l'état variable en augmentant de plus en plus la rapidité des variations? Cette question se présentait tout naturellement à moi en poursuivant les expériences systématiques dont je viens de vous rendre compte sur les effets physiologiques de l'état variable. J'essayai de résoudre le problème en actionnant des bobines d'induction au moyen d'interrupteurs mécaniques variés; mais, lorsque les interruptions devenaient trop rapides, je n'avais plus de courant, comme l'avaient constaté avant moi tous les physiologistes. Je fis construire alors un petit alternateur sur le modèle breveté par Gramme en 1871 et retrouvé après lui par Mordey. J'employai également une roue phonique de Sieur, et je pus arriver ainsi à avoir 10000 excitations par seconde. Enfin, en 1890, je songeai à employer le résonateur de Hertz, capable de fournir des fréquences que je n'avais jamais osé rêver. Je vis alors que les nerfs et les muscles étaient complètement inexcitables par les étincelles provenant de cet appareil. M. Joubert me dit de son côté avoir été très étonné de n'avoir pu se servir de la grenouille comme galvanoscope. En analysant ce phénomène, je remarquai que les nerfs traversés par ces courants éprouvaient une diminution très notable de leur excitabilité aux courants ordinaires et ne la recou-

Digitized by Google

vraient qu'au bout d'un temps assez long. J'exposai ces résultats dans mon cours du Collège de France en décembre 1890. J'en parlai à la Société de Biologie dans des Communications orales et dans des Communications écrites les 25 avril et 2 mai 1891, en émettant des hypothèses pour expliquer ces faits inattendus. Puis vint l'importante Communication de M. Tesla, faite à New-York le 23 mai 1891. Cet habile expérimentateur arrivait incidemment pour les effets physiologiques à des conclusions identiques aux miennes, mais en mettant en œuvre des moyens incomparablement plus puissants. Je vous demande la permission de mettre sous vos yeux, à titre de document historique, un extrait de ma Communication du 25 avril 1891 à la Société de Biologie.

« Dans une Communication verbale du 24 février 1891, j'ai signalé à la Société l'action physiologique spéciale des courants alternatifs de forme sinusoïdale à période très lente. J'ai montré que des courants de cette nature, incapables de provoquer aucune contraction musculaire ni aucun phénomène douloureux, agissent néanmoins puissamment sur les combustions respiratoires. Leur passage chez l'homme sain s'accompagne d'une augmentation de la quantité d'oxygène absorbé et d'une émission plus grande d'acide carbonique.

» J'ai poursuivi l'étude de ces courants en augmentant de plus en plus leur fréquence et en étudiant cette fois l'influence de la fréquence sur la sensibilité générale et sur l'excitabilité neuro-musculaire. J'ai employé pour cela des machines industrielles à courants alternatifs Gramme et Siemens, et aussi un modèle spécial d'alternateur pouvant donner jusqu'à 10000 alternances ou excitations par seconde. Par un dispositif que je ne peux indiquer ici, je me suis arrangé de façon que le travail absorbé, sous forme d'énergie électrique, par l'organisme ou le tissu en expérience, restât constant dans tous les cas, malgré l'augmentation du nombre des alternances. Il suffit pour cela que la formule représentant le travail d'un courant alternatif dans le circuit extérieur satisfasse à l'égalité

$$E_e I_e \cos 2\pi\varphi = \text{const.},$$

E_e étant la force électromotrice efficace, I_e l'intensité efficace du courant et φ ce qu'on appelle la *phase*.

Digitized by Google

» Pour graduer convenablement le courant qui sert à exciter le nerf ou le muscle, j'envoie le courant provenant de la machine dans le circuit primaire d'un appareil à chariot *sans fer,* et c'est à l'aide du courant prenant naissance dans la bobine mobile que j'excite le tissu. Le chariot de du Bois-Reymond joue le rôle de transformateur à rendement variable.

» J'ai constaté, dans ces conditions, qu'en augmentant graduellement la fréquence, les phénomènes d'excitation neuro-musculaire vont en augmentant jusqu'à 2500 ou 3000 excitations par seconde, qu'ils restent stationnaires entre 3000 et 5000, et vont ensuite en décroissant jusqu'à 10000, de sorte qu'un courant ayant 3000 alternances est plus douloureux qu'un courant de 10000, et beaucoup moins qu'un courant de 150 seulement et même de 40 avec la machine Gramme. Ces expériences me portent à croire que les machines à courants alternatifs, *de puissance égale,* seront d'autant moins dangereuses que la fréquence des courants qu'elles engendrent sera elle-même plus grande, contrairement à ce qu'on aurait pu supposer. Quelle explication donner à ce fait expérimental? Je n'en vois que deux possibles : une, physique, bien démontrée, l'autre physiologique et hypothétique. Il est bien démontré aujourd'hui que, dans le cas des courants alternatifs, la loi d'Ohm $I = \frac{E}{R}$ n'est plus applicable; la distribution du courant alternatif dans le conducteur est tout autre que dans le cas du courant constant.

» Le courant alternatif se porte surtout à la surface du conducteur comme l'électricité statique. Sa pénétration dans le conducteur est d'autant moindre que la fréquence est plus grande. Dans le cas des courants alternatifs, la conductibilité d'un conducteur cylindrique croît seulement comme sa surface. Lorsque la fréquence est suffisante par conséquent, le courant passant par le corps d'un animal ne pénétrera pas et s'écoulera tout entier par la surface; c'est là sans doute qu'il faut chercher l'explication de la diminution du danger à mesure qu'augmente la fréquence. On peut supposer, en second lieu, que les tissus ne sont plus excitables par des chocs suffisamment rapides; dans le cas actuel, on ne peut admettre cette explication, puisque j'ai démontré autrefois (1) qu'un muscle peut

(1) Voir *Comptes rendus de la Société de Biologie*, année 1885, p. 454.

Digitized by Google

reproduire la parole et répondre, par conséquent, à plus de 10000 excitations par seconde.

» Pour savoir si le nerf et le muscle peuvent répondre à des excitations électriques extrêmement rapides, j'ai abandonné tous les interrupteurs électriques mécaniques qui peuvent donner très difficilement 30000 excitations par seconde; je me suis servi d'un dispositif qui peut donner jusqu'à mille millions de vibrations électriques par seconde. C'est l'appareil bien connu des physiciens, depuis les admirables recherches du Dr Hertz sur les oscillations électriques. J'ai donc installé un vibrateur de Hertz dont la période calculée par la formule de Thomson, $T = 2\pi\sqrt{LC}$, est de 20 à 25 billionièmes de seconde. Un *résonateur* de Hertz, modifié par M. Joubert, installé à 50^{cm} environ du vibrateur, donne des étincelles de 5^{mm} à 6^{mm} de longueur au maximum. Eh bien, à l'aide d'étincelles de cette force, il m'a été impossible d'exciter une patte galvanoscopique des plus sensibles dans les conditions où j'ai opéré. M. Joubert m'a dit qu'il n'avait pas été plus heureux que moi lorsqu'il a répété les expériences de Hertz au Laboratoire central d'électricité. Constamment la grenouille a refusé de se contracter, bien que le résonateur de M. Joubert donnât des étincelles de plus de 1^{cm}.

» D'ailleurs, si l'on reçoit ces étincelles sur un doigt, sur le bout du nez, sur la pointe de la langue, etc., on n'éprouve absolument aucune sensation de piqûre, alors que le choc serait, au contraire, très douloureux, si l'on recevait une étincelle de pareille longueur provenant d'un appareil de Ruhmkorff. Les nerfs sensitifs et les nerfs moteurs sont donc insensibles à des excitations ou à des ondulations électriques qui atteignent 20 à 30 millions par seconde. Nous n'avons pas de nerfs, ou plutôt de terminaisons nerveuses sensitives correspondant à cette période vibratoire. En revanche, nous en avons d'autres qui sont accordées pour des mouvements vibratoires beaucoup plus rapides, allant de 100 à 400 billions de vibrations par seconde (ondulations calorifiques), ce sont les terminaisons nerveuses transmettant les impressions de chaleur et de froid. D'autres terminaisons nerveuses (rétine) sont sensibles à des ondulations encore plus rapides, comprises entre 497 billions (rouge) et 728 billions par seconde (violet). Au delà de 728 billions par seconde, nous ne connaissons ces mouvements ondulatoires de l'éther que d'une manière indirecte (fluorescence, photo-

Digitized by Google

graphie, etc.). On pourrait, d'après cela, diviser les terminaisons nerveuses en deux catégories spéciales. Les unes seraient sensibles à certaines ondulations de l'éther, c'est-à-dire aux vibrations transversales, d'une période déterminée; les autres (terminaisons acoustiques, corpuscules du tact, etc.) ne seraient, au contraire, influencées que par les vibrations de la matière pondérable (vibrations de l'air, des corps solides, etc.) d'une période infiniment plus longue. »

Telles étaient les constatations que j'avais faites lorsque les expériences retentissantes de M. Tesla amenèrent l'attention du grand public sur cette question. Il était intéressant de démontrer que pour les très hauts voltages et les grandes énergies la loi générale que j'avais formulée s'appliquait encore. J'ai pu le faire grâce surtout aux indications que M. le professeur Elihu Thomson a données récemment avec une libéralité digne de sa réputation. L'appareil que vous avez sous les yeux se compose en principe d'une bouteille de Leyde qui se décharge périodiquement dans un premier circuit composé de quinze spires de fils de cuivre de 4^{mm} de diamètre. Ce solénoïde est placé dans l'intérieur d'un tube d'ébonite de 6^{cm} de diamètre intérieur sur 15^{cm} de longueur. Sur sa paroi extérieure est roulé en une seule couche un fil de cuivre couvert de deux couches de coton, dont le diamètre est de $\frac{1}{2}$ millimètre et qui fait 150 tours environ. Le tout est plongé dans une huile minérale (valvoline du commerce). La bouteille de Leyde est chargée périodiquement en plaçant ses deux armatures en dérivation sur le circuit secondaire d'une bobine de Ruhmkorff actionnée par cinq accumulateurs. Elle donne des étincelles de 10^{cm} dans ces conditions.

La capacité de la bouteille de Leyde employée est au maximum d'environ $\frac{1}{500}$ de microfarad. Dans ces conditions on obtient aux bornes du transformateur secondaire, noyé dans l'huile, des étincelles de 5^{cm} à 7^{cm} de longueur. Les oscillations électriques, dans ce circuit, sont au nombre de 6 à 700000 par seconde environ. En employant la bobine de Ruhmkorff comme source électrique, il est inutile de souffler sur l'étincelle; il en est de même avec les machines de Holtz et Wimshurst. Ce dispositif simple permet de reproduire, comme vous pouvez en juger, toutes les expériences de M. Tesla : aigrettes violettes, illuminant tout le parcours des fils,

Digitized by Google

phosphorescence unipolaire des lampes à incandescence ordinaires ou des rubis dans le tube de Crookes, illumination des tubes vides dans le champ électrique, etc. Quant à l'action de ce courant sur la sensibilité, elle est nulle, bien que l'énergie électrique développée soit d'environ 50 watts dans le circuit extérieur. Voici une lampe à incandescence de 125 volts et de $\frac{1}{2}$ ampère, vous voyez que je l'allume soit à travers mon corps, soit en la mettant entre deux personnes touchant d'autre part les bornes de la bobine. Vous pouvez constater que la sensation produite par ces décharges d'une énergie considérable est nulle. J'ai obtenu les mêmes résultats au laboratoire en employant pour actionner la bobine Ruhmkorff un alternateur Gramme ou Siemens (¹). J'ai pu allumer dans ces conditions jusqu'à sept lampes semblables à celle que je vous présente à travers mon corps, sans ressentir aucun effet désagréable. Un semblable courant venant directement de l'alternateur suspendrait instantanément la respiration et provoquerait de violentes contractions dans tous les muscles. En employant l'alternateur, il faut souffler l'étincelle, comme le recommande M. Elihu Thomson. J'ai employé avec avantage pour cela un courant d'acide carbonique provenant d'une bouteille en fer forgé où ce gaz est à l'état liquide. Je préfère néanmoins faire éclater l'étincelle de la bouteille entre les pôles d'un électro-aimant Faraday, actionné par trois ou quatre accumulateurs. Ce procédé a été employé, je crois, par M. Tesla, bien qu'il n'en ait point parlé dans la Communication orale qu'il nous a faite.

L'aspect de l'étincelle change complètement lorsqu'elle est soufflée par le champ magnétique ainsi que vous pouvez le voir. Tant que le faraday est inactif, on obtient un arc continu peu bruyant; mais, aussitôt qu'on anime l'électro, l'arc se résout en une multitude de fins traits lumineux qui tournent autour des pôles en produisant une crépitation des plus énergiques. La longueur et l'abondance des étincelles aux bornes de la bobine noyée dans l'huile augmentent aussitôt.

Je vous ai dit que la sensation immédiate produite par ces courants était nulle. Leur passage s'accompagne pourtant d'effets phy-

(¹) Cet appareil a fonctionné devant la Société de Physique à la séance de Pâques où l'auteur fit cette Communication.

Digitized by Google

siologiques très intéressants que je vous signale brièvement : 1° Si l'on ferme pendant un certain temps le courant à travers les mains, munies de larges conducteurs métalliques, on trouve que la peau est devenue insensible. Cette insensibilité persiste de quelques minutes à une demi-heure. 2° Dans ces conditions, et aussi en s'isolant sur un tabouret en verre et ne prenant qu'un seul pôle, on ressent une sensation de chaleur qui s'accompagne bientôt de production abondante de sueur et d'une vascularisation considérable de la surface cutanée. 3° Enfin, si l'on fait une petite plaie à la patte d'un animal, de façon que le sang s'en échappe seulement goutte à goutte, on voit l'hémorragie devenir très abondante sous l'influence du courant. Il y a alors une action vaso-dilatatrice énergique.

Je poursuis en ce moment la série des phénomènes physiologiques produits par ces courants. Je les crois appelés à rendre de très grands services à la Thérapeutique, et j'espère pouvoir, d'ici peu, vous présenter l'analyse complète de ces effets curieux comme complément de cette Communication déjà trop longue.

Notice sur les expériences de MM. Elihu Thomson et Tesla réalisées au moyen des appareils construits par MM. E. Ducretet et Lejeune;

PAR MM. E. DUCRETET ET L. LEJEUNE.

La *fig.* 1 ci-contre représente l'ensemble des appareils nécessaires pour répéter les expériences en question, moins la bobine de Ruhmkorff.

Ces appareils sont montés sur un socle unique et, pour compléter l'installation, il suffit de relier les fils *i*, *i'* du circuit induit de la bobine aux fils *i*, *i'* représentés sur la *fig.* 1.

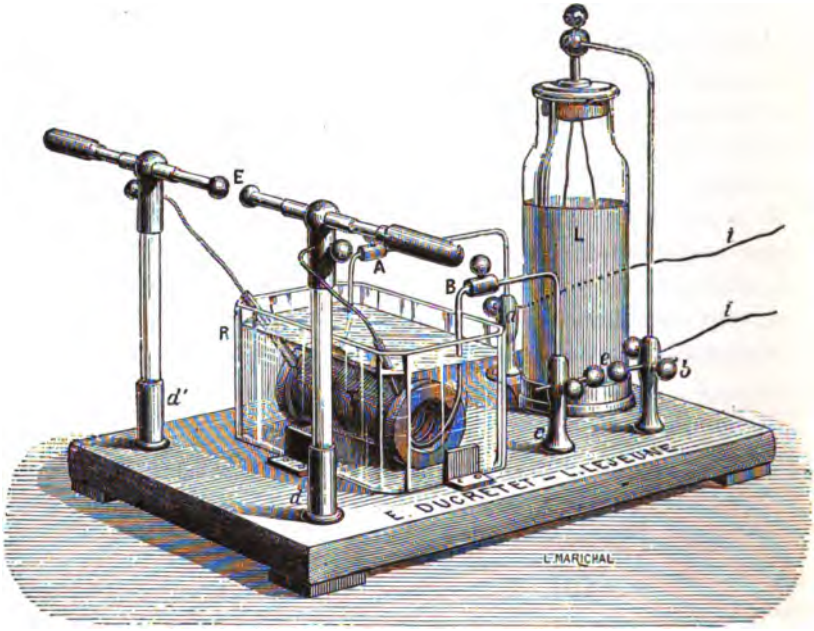
La bobine de Ruhmkorff (bobine n° 5 de 50^{mm} d'étincelle à trembleur rapide de E. D.) est actionnée par le courant de 5 à 6 accumulateurs. Le courant induit de cette bobine est employé à charger une bouteille de Leyde L et cette bouteille produit en *e*, sous la forme d'étincelles très vives dont on peut faire varier la longueur en écartant ou rapprochant plus ou moins les boules

Digitized by Google

des décharges oscillantes qui ont pour effet d'augmenter considérablement la fréquence des courants induits produits par la bobine.

Sur le circuit de décharge de la bouteille est intercalé le *fil primaire* d'un transformateur T complètement noyé dans l'huile

Fig. 1.



qui forme isolant et dont le *fil secondaire* va aboutir à l'excitateur E; les deux fils du transformateur sont séparés par un tube d'ébonite.

En *e* et pour un appareil de plus grande dimension dans lequel la bobine de Ruhmkorff est remplacée par un alternateur actionnant un transformateur, on peut adjoindre à l'appareil soit une soufflerie qui lance un jet d'air sur l'étincelle et la brise, soit un jet d'acide carbonique provenant d'une bouteille qui contient ce gaz sous pression, soit encore un *électro-aimant* dont les pôles sont à angle droit avec l'étincelle; il est bon, dans ce dernier cas,

Digitized by Google

de recouvrir les pièces polaires de feuilles de mica pour éviter que l'étincelle ne jaillisse sur elles (¹).

C'est ce dernier dispositif qu'emploie M. le Dr d'Arsonval; les étincelles en E sont alors beaucoup plus longues et les effets obtenus se trouvent considérablement augmentés.

Effets physiologiques. — L'étincelle en E peut atteindre 4cm de longueur; même dans ces conditions, on peut tenir à chaque main une des boules de l'excitateur, surtout si l'on prend les précautions suivantes : les deux boules étant en contact, en saisir une de chaque main et les séparer; lorsque l'expérience est terminée, les rapprocher au contact l'une de l'autre avant de les abandonner; dans ces conditions, l'opérateur *ne ressent aucune commotion quelles que soient la bobine employée* et la longueur de l'étincelle en E.

M. d'Arsonval a fait de ces effets l'étude la plus complète.

Effets lumineux. — Détachons les conducteurs qui relient le transformateur T à l'excitateur E; si la salle d'expériences est suffisamment obscure, nous verrons ces conducteurs s'illuminer, des aigrettes jailliront, des corps légers pourront être attirés et l'odeur de l'ozone apparaîtra nettement. Ces phénomènes sont donc absolument du même genre que ceux que permettent d'obtenir les machines de Holtz et de Wimshurt et en tout comparables aux phénomènes d'Electricité statique.

Prenons un tube de verre dans lequel nous aurons fait un vide partiel convenable et, prenant à la main une des extrémités de ce tube, approchons l'autre extrémité au contact d'une des tiges de l'excitateur, nous verrons le tube s'illuminer.

Le corps humain peut lui-même servir de conducteur; dans ce cas, tenant d'une main l'extrémité d'un tube de Geissler, on saisit de l'autre une des tiges de l'excitateur, les deux boules étant écartées. Si, dans ces conditions, une autre personne vient prendre à pleine main l'extrémité libre du tube, celui-ci devient immédiatement très lumineux et dans toute sa longueur. On peut

(¹) Le petit appareil de Faraday convient parfaitement pour obtenir les champs magnétiques intenses nécessaires pour une bonne réussite de l'expérience.

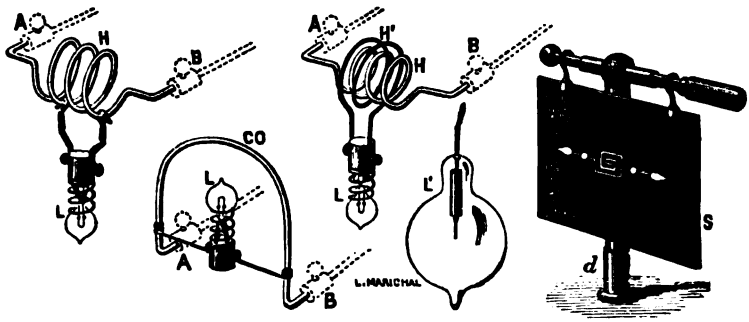
Digitized by Google

ainsi former une chaîne de personnes tenant entre elles des tubes qui s'illuminent sous l'influence électrique.

On peut aussi illuminer le tube sans le mettre en communication immédiate avec l'excitateur. Pour cela, une surface métallique S (*fig.* 2) est suspendue à l'une des tiges de l'excitateur et crée ainsi un champ électrostatique qui s'étend à distance. Un tube de Geissler ou de Crookes tenu à la main par une des extrémités s'illumine dans le voisinage de la plaque sans cependant avoir avec elle aucun contact immédiat.

Un autre phénomène également très intéressant est celui-ci : suspendons à l'une des tiges de l'excitateur E une lampe L' (*fig.* 2)

Fig. 2.



à une seule électrode et même sans électrode, elle s'illuminera et nous pourrons voir se produire, surtout si l'on approche la main, une aigrette brillante en forme de pinceau constituant un phénomène des plus remarquables. L'aigrette se déplace avec la plus grande facilité sous l'influence de la plus faible variation magnétique; aussi M. Tesla a-t-il cru voir dans ce phénomène à la fois un nouveau mode d'éclairage et peut-être aussi un moyen « de télégraphier à une vitesse quelconque à travers l'Atlantique ».

Expériences diverses. — La cuve à l'huile R (*fig.* 1) est enlevée ainsi que le transformateur T qu'elle contient. Dans les deux serre-fils A et B laissés libres, on serre les extrémités d'un gros fil CO de faible longueur et dont la résistance est presque nulle ($0^{ohm},0007$); une lampe à incandescence L reliée aux deux extrémités de ce gros fil s'allume au blanc. La lampe étant de

Digitized by Google

4 volts, le calcul montre que, pour obtenir le même effet avec un courant continu, l'intensité du courant passant dans le gros fil devrait être

$$I = \frac{e}{R} = \frac{4}{0,0007} = 6000 \text{ ampères environ.}$$

En substituant au gros fil CO un solénoïde d'une dizaine de spires H, il est possible d'allumer des lampes L de différents voltages (*fig.* 2) en branchant les deux fils de ces lampes en différents points du solénoïde; deux spires d'intervalle suffisent pour une lampe de 4 volts.

Éclairage par induction. — Une lampe à incandescence L (*fig.* 2) de 4 volts reliée aux deux extrémités d'un solénoïde H' de deux spires s'allume au blanc lorsqu'on introduit à l'intérieur le gros solénoïde H parcouru par le courant de décharge.

SÉANCE DU 6 MAI 1892.

PRÉSIDENCE DE M. VIOLLE.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er avril est lu et adopté.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL annonce l'envoi d'une Note de M. DELAURIER, intitulée : *Remarques sur les applications scientifiques et industrielles de la thermo-électricité.*

M. le PRÉSIDENT annonce la perte douloureuse qu'elle vient de faire en la personne de M. *Abria.*

« MESSIEURS,

» La Société française de Physique a fait une perte douloureuse dans la personne de M. Abria, doyen honoraire de la Faculté des Sciences de Bordeaux et Correspondant de l'Institut, l'un de nos Membres les plus anciens et les plus fidèles.

» A l'époque où la découverte des courants d'induction mit les physiciens en possession d'un domaine nouveau dans lequel devaient se récolter de si merveilleuses moissons, M. Abria entreprit d'étudier les propriétés des courants induits par une méthode ingénieuse, mais non sans difficulté et qui consistait à mesurer l'intensité de l'aimantation produite dans une

Digitized by Google

aiguille d'acier par le courant à étudier. Il établit des faits intéressants relativement à l'action galvanométrique des courants induits, au magnétisme de rotation, aux décharges électriques : il constata le premier les stratifications de la lumière électrique dans les gaz à un certain état de raréfaction.

» Il a également porté ses investigations sur plusieurs questions de Thermochimie et sur la plupart des phénomènes de l'Optique : on lui doit une démonstration expérimentale très exacte de la loi d'Huygens par la mesure de l'angle que font les deux rayons sortant d'un prisme biréfringent.

» Professeur aussi consciencieux que savant, M. Abria a honoré pendant de longues années la Faculté et la ville de Bordeaux, où il était aimé et respecté de tous. »

M. le Président remercie en ces termes les personnes qui ont pris part à l'Exposition annuelle :

« Messieurs,

» Nos séances de Pâques ont été, cette année, particulièrement intéressantes et ont attiré un grand nombre de visiteurs et d'auditeurs.

» Notre Exposition, brillamment éclairée par les lampes que la Société Cance avait gracieusement mises à notre disposition, a eu son succès ordinaire, qui s'est prolongé avec la même intensité pendant la troisième journée, ajoutée cette année.

» MM. les constructeurs ont tenu à honneur, comme d'habitude, de nous montrer leurs instruments les plus nouveaux, parmi lesquels vous avez remarqué l'appareil de M. Mascart pour projeter les franges produites par deux prismes en contact, et le pyromètre optique de M. Le Chatelier, sortant des ateliers de M. Pellin; les goniomètres de M. Mallard, exposés par M. A. Picard; les appareils de Spectroscopie biologique de M. le Dr Hénocque, construits par M. Lütz; tout l'outillage imaginé par M. Laurent pour le travail et le contrôle des pièces d'Optique les plus précises; et, à côté, la belle exposition de verres de M. Mantois, qui nous a montré aussi les creusets ayant servi à la fabrication des rubis artificiels et encore garnis d'une grande quantité de ces magnifiques pierres; les récentes balances de M. Curie, de M. A. Collot, et celles de M. V. Serrin; les appareils de M. Schlœsing, de M. Leduc, de M. Berget, construits par M. Chabaud; l'étuve de M. le Dr Mally, par M. Adnet; l'homéotrope de M. Gossart, par M. Demichel; le chronographe électro-balistique de M. Schmidt; le baromètre enregistreur de M. Sentis; les derniers enregistreurs de MM. Richard; les instruments de M. Ducretet pour répéter dans les cours les expériences de M. Elihu Thomson et de M. Tesla; les nouveaux galvanomètres de MM. d'Arsonval et Gaiffe; le condensateur de M. Abraham, dont les plans en verre argenté ont été dressés par M. Werlein; les fontaines lumineuses de M. Trouvé; les nombreux appareils d'électricité domestique réalisés avec une rare perfection par la Compagnie continentale Edison; les instruments de mesure

Digitized by Google

de M. Carpentier, qui, sortant de son genre habituel, nous présentait une nouveauté appelée certainement à un très grand succès, la jumelle photographique.

» Du reste, la Photographie tenait une place d'honneur dans notre exposition : c'étaient d'abord les curieuses photographies de M. Teisserenc de Bort représentant les dégâts produits par la trombe de Dreux ; les épreuves photomicroscopiques de M. Raymond ; les belles photolithographies de spectres de métaux obtenues à l'aide des réseaux de Rowland et données à la Société française de Physique par M. Mac Clean ; puis les curieuses projections polychromes effectuées à l'aide de trois photographies prises par M. Vidal dans trois lumières physiologiquement élémentaires et combinées par M. Molteni. Cette belle expérience, qui a obtenu le plus légitime succès, sera reprise et développée dans une de nos prochaines séances par M. Vidal. C'étaient enfin les spectres réalisés par MM. Lumière, de Lyon, suivant l'admirable procédé de M. Lippmann, qui s'est surpassé lui-même depuis, ainsi que vous l'attesteront les clichés qu'il voudra bien nous montrer dans un instant.

» Les autres branches de la Physique ne laissaient point cependant d'être bien représentées. En Mécanique, M. Hirsch nous avait apporté le très ingénieux appareil qu'il a imaginé pour comparer avec une extrême précision deux mouvements de rotation; et les courbes lumineuses traduisant à chaque instant la combinaison des deux mouvements sollicitaient vivement la curiosité et l'admiration de nos nombreux visiteurs.

» La chaleur se présentait à nous sous une forme artistique par de magnifiques spécimens de pyrogravure dus au thermocautère de M. Paquelin, construit par M. Gillet, et au burin incandescent de M. Manuel-Périer. M. Amagat avait bien voulu nous apporter et faire fonctionner lui-même son appareil pour la solidification des liquides par la pression.

» La Thermochimie s'incarnait dans la bombe calorimétrique de M. Berthelot, sous sa forme nouvelle, l'obus de M. Malher construit par M. Golaz.

» En Optique, outre les nombreux appareils et les merveilleux résultats que j'ai déjà cités, nous trouvions encore le réfractomètre de Pulfrich, si bien étudié par M. Dufet, les modèles de M. Fribourg, le banc d'optique de MM. Benoist et Berthiot, l'appareil de M. Izarn construit par M. Lund, et les abaques de M. Broca.

» Dans le domaine, toujours très riche, de l'électricité, nous pouvions étudier les expériences de M. Branly sur la conductibilité des isolants; celles de M. Gouy sur les phénomènes électrocapillaires; la méthode téléphonique employée par M. Colson pour suivre la propagation des ondes électriques; l'appareil de M. Blondel pour l'enregistrement photographique des courbes périodiques des courants alternatifs; la méthode de M. P. Janet pour l'étude stroboscopique des mêmes courants et le dispositif très simple employé par le professeur de Grenoble pour répéter les expériences de M. Tesla; une machine électrique à écoulement de mercure présentée par M. Peignot qui nous a fait entendre aussi un téléphone

Digitized by Google

auditif d'une remarquable intensité; les divers modèles de piles du commandant Renard construits par MM. Roy et Hottot; la pile Flavien-Poudroux exposée par M. P. Rousseau, le compteur d'électricité de M. Desruelles et celui de M. Laille construit par Mme Vve Picard; le poêle thermo-électrique du Dr Giraud.

» Par cet exposé, trop long et cependant très incomplet, vous voyez que nous avons contracté de nombreuses dettes de reconnaissance. Mais la plus grosse est assurément celle que nous ne faisons qu'accroître chaque jour davantage vis-à-vis de notre zélé Secrétaire général, M. Pellat. Sans doute il a trouvé l'aide la plus dévouée (et il ne me pardonnerait pas de le taire) dans M. Sandoz; mais c'est lui seul qui a porté le poids de l'organisation de cette brillante Exposition, c'est à lui que revient l'heureuse initiative des belles conférences qui l'ont accompagnée.

» Ici, Messieurs, je n'ai qu'à faire appel à vos souvenirs. Vous avez tous entendu et tous applaudi la lucide exposition et les belles expériences de M. d'Arsonval sur les propriétés des courants alternatifs à haute fréquence, propriétés dont plusieurs et non des moins curieuses ont été établies par lui.

» Vous avez tous suivi les raisonnements si nets et admiré les gracieuses expériences de M. le commandant Renard qui nous a montré que « le plus lourd que l'air » n'avait pas plus de secrets pour lui que « le plus léger que l'air ». Ces deux conférences paraîtront *in extenso* dans la *Revue générale des Sciences,* où vous les retrouverez avec un vif plaisir, en attendant leur insertion dans le Bulletin des Séances. Pour tout ce plaisir, et passé et à venir, que M. d'Arsonval et M. le commandant Renard veuillent bien recevoir ici l'expression de notre entière gratitude. »

Sur la photographie des couleurs. — Dans la première Communication faite à la Société le 20 février 1891, M. Lippmann disait que les couches sensibles qu'il employait alors manquaient de sensibilité et d'isochromatisme, et que ces défauts étaient le principal obstacle à l'application générale de la méthode qu'il avait imaginée. Depuis lors M. Lippmann a réussi à améliorer la couche sensible, et, bien qu'il reste encore beaucoup à faire, les nouveaux résultats sont assez encourageants pour qu'il en fasse part à la Société.

Sur des couches d'albumino-bromure d'argent, rendues orthochromatiques par l'azaline et la cyanine, M. Lippmann obtient des photographies très brillantes du spectre. Toutes les couleurs viennent à la fois, même le rouge sans interposition d'écrans colorés, et après une pose comprise entre cinq et trente secondes.

Sur deux de ces clichés on remarque que les couleurs vues par transparents sont très nettement complémentaires de celles qu'on aperçoit par réflexion.

La théorie indique que les couleurs composées que revêtent les objets naturels doivent varier en photographie au même titre que les lumières

Digitized by Google

simples du spectre. Il n'en était pas moins nécessaire de vérifier le fait expérimentalement.

Les cinq clichés présentés à la Société et projetés à la lumière électrique représentent fidèlement des objets assez divers : un vitrail à quatre couleurs, rouge, vert, bleu, jaune; un groupe de drapeaux; un plat d'oranges surmontées d'un pavot rouge; un perroquet multicolore; une branche de houx. Ils montrent que le modelé est rendu en même temps que les couleurs.

Les drapeaux et l'oiseau ont exigé de cinq à dix minutes de pose à la lumière électrique ou au soleil. Les autres objets ont été faits après de nombreuses heures de pose à la lumière diffuse. Le vert des feuillages, le gris de la pierre d'un bâtiment sont parfaitement venus sur un autre cliché; le bleu du ciel, par contre, était devenu indigo. Il reste donc à perfectionner l'orthochromatisme de la plaque et à augmenter considérablement sa sensibilité.

M. Lippmann, après avoir fait l'expérience qui consiste à mouiller un spectre solaire photographié pour voir les couleurs, altérées par l'humidité, reprendre par le séchage leurs valeurs primitives, termine sa Communication en donnant la théorie analytique de la reproduction photographique des couleurs complexes.

SÉANCE DU 20 MAI 1892.

PRÉSIDENCE DE M. VIOLLE.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 mai est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. BASSET, Professeur au Lycée de Bourges.
BOZZOLA (l'abbé J.-B.), Professeur au Séminaire de Padoue (Italie).
CARRÉ, Professeur au Lycée de Tulle.
DENZA (R.-P.), Directeur de l'Observatoire du Vatican, à Rome (Italie).
GALANTE, Constructeur d'Instruments de Chirurgie, à Paris.
JOANNIS (l'abbé DE), Licencié ès Sciences physiques et mathématiques, à Paris.
FAILLOT, Professeur au Lycée de Chambéry.
LARUE, ancien Magistrat, à Paris.
SIGALAS (Dr C.), chargé d'un cours complémentaire de Physique à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, à Bordeaux.

M. le PRÉSIDENT annonce à la Société la perte douloureuse qu'elle vient de faire en la personne de M. *Robert Colley*, Professeur de Physique à l'Ecole agronomique de Petrowskoye, près Moscou (Russie).

Digitized by Google

M. Edouard Branly présente les premiers résultats de ses recherches sur les propriétés électriques d'une couche d'air comprise entre une plaque métallique froide et une surface chauffée au rouge.

Le premier fait nouveau est que cette couche gazeuse est conductrice. Un courant de pile peut passer entre deux surfaces métalliques distantes de quelques millimètres dont l'une est froide et l'autre incandescente.

En second lieu, la conductibilité dépend dans certaines conditions du sens du courant, mais, comme ces conditions varient avec la nature physique et chimique des surfaces, il convient de diviser l'étude.

L'emploi d'un électroscope (une lame de laiton rigide et une feuille d'or mobile) est particulièrement commode pour les observations. La boule de l'électroscope étant remplacée par un disque métallique horizontal, on dispose au-dessus, à une distance de quelques centimètres, une spirale de platine portée au rouge par un courant électrique. La couche d'air comprise entre la spirale et le disque devient conductrice. Pour une très vive incandescence de la spirale, l'électroscope chargé positivement ou négativement se décharge rapidement; au rouge sombre, la décharge est encore rapide si l'électroscope est négatif, elle est nulle ou presque nulle s'il est positif. Même phénomène en projetant les gaz chauds sur le disque de l'électroscope.

Parallèlement au disque, on peut encore disposer une lame de platine chauffée par un petit chalumeau. La déperdition de l'électroscope chargé négativement se produit dès que la lame commence à présenter une petite surface rouge.

La disposition la plus simple consiste à remplacer le verre d'un bec de gaz par un cylindre de platine qu'on approche à quelques centimètres d'un disque métallique vertical relié à un électroscope.

Les expériences devront être faites dans un gaz inerte pour pouvoir indiquer comment se comportent les surfaces métalliques non oxydées. Un tube de laiton substitué au cylindre de platine sur le bec de gaz se comporte comme le platine : déperdition rapide quand l'électroscope est négatif, déperdition positive insignifiante. Au contraire, avec un tube de nickel placé sur le bec de gaz en face du disque de l'électroscope, la déperdition positive de l'électroscope est rapide, tandis que la négative est nulle. On obtient le même résultat qu'avec le nickel si l'on applique sur le cylindre de verre du bec de gaz de la poudre d'aluminium porphyrisé ou certains oxydes de plomb et de bismuth.

Il est commode de charger l'électroscope avec une bonne pile sèche ou avec une pile de 600 éléments zinc-platine. La déperdition propre de l'électroscope, isolé avec du soufre, est nulle. Les mesures se font en visant la feuille d'or mobile avec un microscope à micromètre oculaire.

Ces expériences sont reproduites devant la Société de Physique.

Sur la détermination des constantes critiques de l'acide carbonique et de sa densité à l'état liquide et de vapeur saturée. — M. Amagat

Digitized by Google

décrit la méthode qu'il a suivie pour déterminer les densités de l'acide carbonique à l'état de liquide et de vapeur saturée, et par suite les constantes critiques de ce corps : elle consiste à observer dans un tube à liquéfaction les volumes V et V' de liquide et W et W' de vapeur, dans deux états d'équilibre à la même température. Si D et D' sont les densités sous ces deux états et P le poids de l'acide carbonique, on a évidemment les deux relations

$$\frac{V'-V}{W-W'} = \frac{D'}{D} \qquad \text{et} \qquad V'D + W'D' = P,$$

desquelles on tire D et D'.

En suivant cette méthode dont il montre les avantages, on a pu opérer jusqu'à 31°,00, c'est-à-dire jusqu'à quelques dixièmes de degré de la température critique.

La courbe représentative des résultats, analogue à celle déjà construite par MM. Cailletet et Mathias, montre que les deux branches se raccordent très nettement; de cette courbe jointe à celle des tensions maxima on a déduit les constantes suivantes du point critique

$$T = 31^{\circ},35, \qquad H = 72^{\text{atm}},9, \qquad D = 0,464.$$

M. Amagat a également représenté ses résultats par une courbe de liquéfaction analogue à celle d'Andrews; au moyen des propriétés bien connues des cordes parallèles à l'axe des volumes, il a tracé plusieurs lieux de points pour lesquels les volumes du liquide et de la vapeur coexistant sont dans un rapport donné. Le lieu correspondant au cas où ces deux volumes sont égaux est une ligne rigoureusement droite et presque perpendiculaire à l'axe des volumes; pour un rapport égal à 0,8 le lieu est une ligne *pratiquement* droite et normale à cet axe; dans ce cas que réaliserait un tube de Natterer rempli dans les conditions critiques, le ménisque conserverait aux diverses températures une position sensiblement invariable. M. Amagat décrit plusieurs phénomènes qu'il a observés à des températures peu inférieures à celle du point critique et notamment la disparition possible du ménisque qui se trouve remplacé par une série de densités croissant continûment depuis D jusqu'à D'.

Il termine en faisant remarquer que ces expériences sont terminées depuis près de deux ans, que la publication en a été retardée parce qu'il avait eu l'intention d'y apporter des développements que les circonstances ne lui ont pas permis de réaliser, mais que depuis longtemps déjà la méthode et les résultats avaient été communiqués par lui à un grand nombre de personnes.

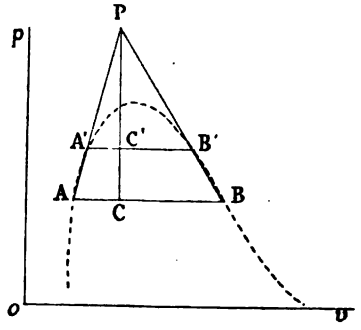
M. Raveau signale une propriété des tubes de Natterer.

Quand on chauffe un tube de Natterer contenant une quantité suffisante de matière, on voit le niveau du liquide s'élever constamment; c'est un fait bien connu, qui résulte en particulier de l'examen des courbes tracées par

Digitized by Google

M. Amagat. Ces courbes, le long desquelles le rapport des volumes de vapeur et de liquide reste constant, sont toujours concaves vers l'axe des V; par suite, une parallèle à l'axe des P, correspondant au volume constant du tube de Natterer, ne coupe chacune d'elles qu'une fois : le rapport varie constamment dans le même sens. Mais il n'en résulte pas que la quantité de liquide aille constamment en croissant quand on chauffe. En effet, considérons, sur deux isothermes AA et A'B' (*fig.* 2), les points C et C' tels

Fig. 2.



que le rapport de la masse du liquide à la masse de la vapeur ait une même valeur déterminée. La droite CC' va passer par le point P de concours des droites AA' et BB'; supposons en particulier que ce soit la parallèle à l'axe des P menée par le point P (ce qui est le cas de la figure); le rapport des masses et par suite la masse du liquide repassent deux fois par la même valeur en C et C'; dans l'intervalle, la masse de liquide *a donc passé par un minimum :* ainsi, grâce à la valeur élevée de la compressibilité de la vapeur saturée, il arrive qu'*une augmentation de la quantité de cette vapeur peut être accompagnée d'une diminution de volume.*

Cette propriété tenant à la dissymétrie de la courbe de saturation, il ne se produira aucun effet analogue ou inverse dans les tubes où l'élévation de température amène une vaporisation complète.

Sur les projections polychromes à l'aide de diapositifs non colorés. — M. Léon Vidal résume d'abord la question relative à la *Photochromographie;* il indique, avec précision, les droits de priorité qui appartiennent à des Français autant au point de vue de l'invention de la reproduction directe des couleurs, à l'aide de la photographie, par M. Lippmann, qu'au point de vue des procédés indirects conduisant à des impressions polychromes pigmentaires et dont les inventeurs, MM. C. Cros et Louis Ducos du Hauron ont, chacun de son côté, publié leurs travaux en 1869 [1].

---

[1] *Voir* la Communication faite par M. Ch. Cros à la Société de Physique le 17 février 1879.

Digitized by Google

Parmi les moyens de synthèse par eux indiqués, s'en trouvait un, basé sur l'emploi des projections, à travers des milieux colorés, des trois diapositifs analytiques des couleurs d'un sujet.

Cette idée, fort ingénieuse, a été réalisée par M. Ives à Philadelphie. M. Vidal, en prenant pour base de ses essais les détails mêmes des descriptions de Cros et de Ducos de Hauron, est arrivé de son côté à vérifier et à démontrer l'exactitude de leurs prévisions, car ils n'ont rien réalisé eux-mêmes quant à cette idée.

Les moyens dont il se sert sont loin encore d'être bien adaptés à l'expérience qu'il s'agit de faire, mais ils suffisent, déjà, pour fournir une démonstration approximative du fait de la reconstitution des couleurs à l'aide de trois diapositifs analytiques non colorés, mais simplement éclairés par trois lumières : l'une bleue, l'autre verte et l'autre rouge.

Le mélange des radiations projetées sur un écran à travers ces positifs, qui ne sont que des filtres de lumière, conduit au résultat voulu, si l'œuvre de sélection s'est trouvée aussi parfaite que possible dans l'exécution des négatifs, si les diapositifs, tirés de ces clichés, présentent les rapports d'intensité nécessaires dans leurs parties plus ou moins opaques.

Enfin les milieux colorés doivent satisfaire à deux conditions essentielles : 1° ils doivent, par le mélange de leurs radiations, former du blanc pur; 2° ils doivent, quant à leur coloration, se rapprocher le plus possible des zones spectrales indiquées dans la théorie des couleurs de Young et fournir des radiations colorées : bleu, violet, vert cyané et rouge orangé.

Les projections faites à l'appui de ces indications par M. Molteni confirment ce qui vient d'être dit. Plusieurs sujets, représentés analytiquement par trois diapositifs chacun, sont introduits dans une lanterne à trois corps et projetés sur un écran de façon que, après repérage, les trois épreuves superposées n'en forment qu'une seule : on voit, après interposition des milieux colorés, apparaître l'image polychrome avec une grande richesse de tons et une variété de couleurs infinie.

M. Léon Vidal a laissé à l'appréciation de la Société les applications multiples dont est susceptible cette méthode de reconstitution des couleurs.

Sur la conductibilité des gaz;

Par M. Édouard Branly.

Déperdition positive sous l'influence de la lumière violette. Action de la lumière et action du gaz de la source. — J'ai fait voir, il y a quelque temps déjà, que la lumière violette n'était pas inactive sur les conducteurs chargés d'électricité positive et que,

Digitized by Google

sous son influence, la déperdition avait lieu sur un conducteur chargé positivement aussi bien que sur un conducteur chargé d'électricité négative. La déperdition positive est seulement notablement plus faible que la déperdition négative. La lumière de l'arc voltaïque agit elle-même efficacement sur les charges positives, surtout si la longueur de l'arc voltaïque atteint et dépasse 4^{mm}. Toutefois, c'est avec la décharge des condensateurs, plus riche en rayons violets, que l'action s'est montrée la plus vive.

Dans la disposition expérimentale que j'avais adoptée, dès le début, pour éclairer les disques électrisés avec des décharges brillantes et d'une succession rapide (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences,* séance du 8 avril 1890), toutes les précautions ayant été prises pour éviter l'influence électrique, certains résultats observés à de petites distances relatives des disques et de l'étincelle m'inspirèrent des doutes sur la cause des phénomènes. La lumière était-elle seule active et l'atmosphère gazeuse qui entourait la source lumineuse ne jouait-elle pas un rôle?

Si les gaz de la source entrent en jeu, leur effet doit être important à de petites distances, surtout dans le cas des décharges électriques qui refoulent autour d'elles l'air ambiant.

J'ai d'abord songé à éviter cette cause perturbatrice supposée des gaz pour mettre hors de discussion la déperdition positive par la lumière seule. A cet effet, j'ai opéré sur un disque électrisé placé dans une enceinte assez complètement close pour que l'on pût y faire le vide.

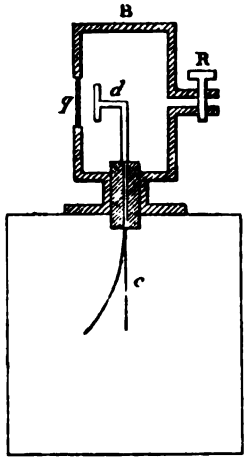
Un électroscope à isolant de soufre a été monté à la partie inférieure d'un cylindre en bronze B, entièrement fermé. L'obturation est faite en avant par une plaque épaisse de quartz q. Une tubulure, portant un robinet R, est située en arrière et permet de relier le cylindre à une machine pneumatique. A l'intérieur du cylindre, un disque métallique d, vertical, est assujetti sur l'électroscope. Une charge est communiquée au disque par le conducteur e de l'électroscope, ce conducteur étant chargé, dans la cage de laiton qui le protège, à l'aide d'une tige métallique introduite du dehors par une ouverture.

Dans cet appareil, où les gaz de la source ne pouvaient pénétrer, la déperdition d'une charge positive du disque, sous l'influence de la lumière violette seule, avait lieu dans l'air et dans le vide, plus

Digitized by Google

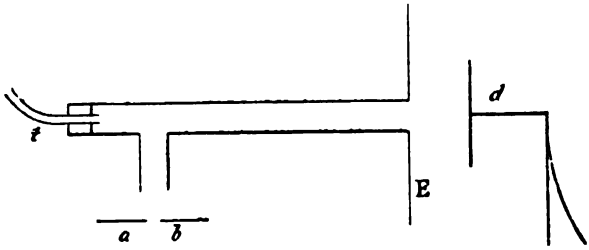
rapidement dans le vide. Conformément aux expériences antérieures, la déperdition positive était notablement plus lente que la négative, mais il était bien établi que l'éclairement par la lumière violette suffisait pour décharger un conducteur électrisé positivement.

Fig. 1.



Ce premier point fixé, je me suis proposé de rechercher l'action des gaz des étincelles. Pour cela, le disque électrisé a été soustrait

Fig. 2.



par un écran E à l'éclairement de la source et les décharges ont été produites en *ab* au-dessous d'un tube coudé; le gaz des étincelles a été dirigé sur le disque par une aspiration due à un vif courant d'air amené en *t*. On constatait d'abord que seul le courant d'air amené en *t* ne produisait sur le disque aucune déperdition, mais mêlé aux gaz entraînés, lorsque des étincelles jaillissaient

Digitized by Google

en *ab*, il donnait lieu à une déperdition rapide de l'électricité du disque *d* et la déperdition se faisait sensiblement avec la même vitesse pour les deux électricités.

En assujettissant le tube d'aspiration à la partie supérieure d'un long serpentin en cuivre entouré d'eau et en faisant éclater les étincelles au-dessous d'un entonnoir *e* fixé au bas du serpentin, les gaz aspirés et projetés sur le disque y arrivaient avec une température sensiblement inférieure à la température ambiante (voir *fig.* 6, remplacer la spirale *f* par les conducteurs *ab* entre lesquels jaillit l'étincelle). Nous voyons bien que ce n'est pas à la température élevée des gaz qu'il convient d'attribuer leur action.

Déperdition produite par les gaz d'une flamme. — Les gaz d'une flamme se comportent comme les gaz des étincelles. Si l'on place au-dessous de l'entonnoir *e* (voir *fig.* 6) une bougie, une lampe à alcool, un petit bec Bunsen, les gaz aspirés et projetés sur le disque produisent les deux déperditions.

Ces expériences conduisent pour le pouvoir déperditeur bien connu des flammes à une explication plus complète que celle qui est présentée d'ordinaire. Quand une flamme est située à proximité d'un conducteur chargé, ce conducteur se décharge; on comprend, d'après ce qui précède, que la flamme se met en communication électrique directe avec le conducteur par les gaz qui l'entourent; l'électricité qui passe ainsi par conductibilité du corps électrisé sur la flamme est ensuite emportée par le courant vertical ascendant de la flamme.

Des gaz simplement chauffés, ne communiquant pas avec une source incandescente, ne produisent pas la décharge des corps électrisés sur lesquels on les dirige. C'est ainsi que je n'ai pas observé trace de déperdition en projetant sur un disque électrisé un courant d'air ou d'hydrogène très fortement chauffé, ou un courant de vapeur d'eau à 100°. Mais il y a déperdition si le courant de gaz lancé sur le disque rencontre sur son trajet une surface portée au rouge.

Conductibilité d'un gaz compris entre un corps incandescent et un conducteur froid. — Les essais précédents nous ramènent aux expériences d'Edm. Becquerel sur la conductibilité des gaz.

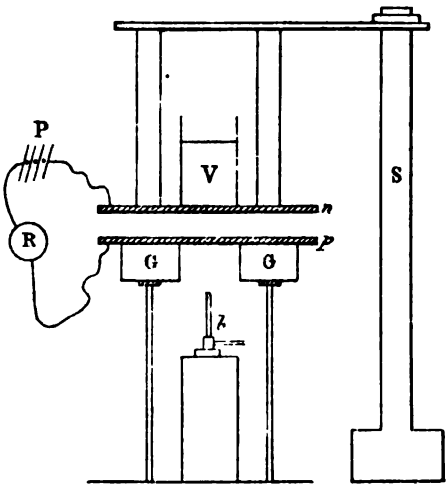
Digitized by Google

Ces expériences, confirmées récemment par M. Blondlot, ont établi qu'une couche d'air comprise entre deux surfaces de platine portées au rouge laisse passer le courant d'une pile; d'après ce que nous avons vu plus haut, cette conductibilité paraît aussi exister entre un corps incandescent et un conducteur froid. Cela résulte en effet d'expériences galvanométriques et d'expériences électrométriques.

I. — Expériences galvanométriques.

J'ai étudié la conductibilité d'une couche d'air interposée entre deux plaques de platine parallèles ou entre une plaque de platine et une plaque d'aluminium. Les deux plaques en présence étaient rectangulaires (22^{cm} sur 16^{cm}). La plaque inférieure, chauffée,

Fig. 3.



était une plaque de platine p, appliquée par ses bords sur un anneau de laiton G, plein d'eau froide, reposant sur trois tiges en ébonite. Un chalumeau à gaz, b, chauffant le platine en son centre, le faisait rougir sur un cercle de 1^{cm} à 5^{cm} de diamètre. La plaque supérieure, n, reste à la température ambiante : c'est une plaque de cuivre, d'aluminium ou de platine supportée par des colonnes d'ébonite. L'ensemble de ces colonnes et de la plaque peut être soulevé ou abaissé à l'aide d'un support à crémaillère S. Un vase

Digitized by Google

de cuivre V, plein d'eau, était posé sur la plaque supérieure et la maintenait froide.

Les deux plaques *n* et *p* sont reliées respectivement aux deux pôles d'une pile P de 250 éléments à sulfate de mercure et l'on intercale dans le circuit un galvanomètre à très long fil R (¹). Les deux aiguilles du galvanomètre formaient un système médiocrement astatique et le zéro était bien fixe, 1^{mm} de déviation à 1^{m} pour $\frac{1}{4.10^{9}}$ d'ampère.

On s'assurait avant tout du parfait isolement du circuit.

Pour un intervalle des plaques de plusieurs millimètres, la couche d'air comprise entre les deux plaques ne se laissait traverser par le courant que lorsque la plaque *p* était rouge; le courant augmentait d'intensité avec l'incandescence. Mais le sens du courant exerce ici une influence considérable sur la conductibilité. La déviation obtenue est beaucoup plus forte quand la plaque froide est reliée au pôle négatif de la pile. Dans une expérience prise parmi plusieurs autres semblables, avec une plaque *p* de platine et une plaque *n* d'aluminium, la déviation a été 2500 quand la plaque froide *n* était négative et seulement 30 quand elle était positive. On obtient des résultats analogues avec 100, 50, 25 ou même 10 éléments de pile, en diminuant suffisamment l'intervalle des plaques.

Lorsque le courant était interrompu. je ne constatais pas de polarisation des plaques.

II. — Expériences électrométriques.

L'emploi d'un électromètre est beaucoup plus avantageux pour ce genre de recherches où il faut mettre en évidence des conductibilités très faibles, surtout pour de fortes épaisseurs de gaz; la sensibilité d'un galvanomètre devient alors tout à fait insuffisante.

Les expériences suivantes ont été faites sur une couche d'air comprise entre un métal porté au rouge et un métal à la température ordinaire. Le gaz s'est toujours montré conducteur, mais très

(¹) Galvanomètre construit par M. Gendron.

Digitized by Google

souvent sa conductibilité dépend du sens du courant, elle est unipolaire.

1° *Métal chauffé par un courant.* — Un fil en zigzag porté au rouge par un courant provoque la déperdition sur un disque fixé au bouton d'un électromètre à isolant de soufre dont la déperdition spontanée était absolument nulle pendant la durée des expériences.

Le fil était un fil de platine iridié à 10 pour 100 d'iridium, de $\frac{6}{10}$ de millimètre de diamètre, formant cinq boucles de 3^{cm} de longueur, disposées sur un plan parallèle au disque et occupant une largeur de $4^{cm},5$. Le disque métallique, de $6^{mm},8$ de diamètre, est chargé par l'un des pôles d'une pile de 250 éléments à sulfate de mercure, dont l'autre pôle est relié au sol. L'électromètre n'avait qu'une feuille, elle s'écartait d'une bande de laiton verticale et fixe.

Tant que le fil traversé par le courant reste au-dessous du rouge, la feuille d'or n'accuse aucune chute. Dès que le fil commence à rougir, la feuille d'or tombe vivement si le disque est négatif, très lentement s'il est positif. Pour une même distance *d* du fil et du disque, les deux déperditions croissent avec l'incandescence du fil; au rouge vif, et la rapidité de la déperdition positive se rapproche de la rapidité de la déperdition négative.

La course totale de la feuille d'or était de 50 divisions du micromètre oculaire au microscope viseur.

Intensité du courant.	Distance de la plaque et de la spirale.	Signe de l'électrisation du disque.	Chute de la feuille d'or en divisions du micromètre.	Durée de la chute.
amp 7,75	15 mm	Négatif	20 à 40	5 s
»	»	Positif	»	Extrêmement longue
12	40	Négatif	10 à 40	3 s
»	»	Positif	»	21

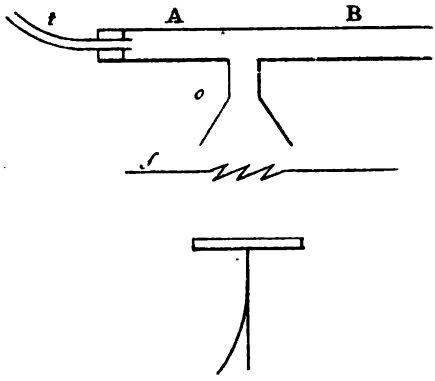
Les résultats restent les mêmes lorsque, la spirale et le disque étant disposés horizontalement, on aspire les gaz chauds du platine à l'aide d'un cône adapté à l'orifice *o* de la branche verticale

Digitized by Google

d'un tube coudé AB dont la branche horizontale est parcourue par un vif courant d'air sortant d'un réservoir à air comprimé.

La nature du conducteur froid ne paraît jouer qu'un très faible rôle; j'ai fait varier la nature du métal, le disque a été remplacé

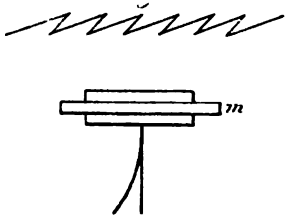
Fig. 4.



par une cuvette d'ébonite renfermant de l'eau, des solutions salines ou même certains liquides très peu conducteurs, comme l'huile, l'essence de térébenthine. Les résultats n'ont pas changé.

Si l'on pose sur le disque métallique horizontal et chargé négativement une lame mince d'ébonite ou de mica *m*, la feuille d'or

Fig. 5.



de l'électroscope tombe encore lorsque la spirale vient à rougir; cela tient à un effet de condensation, l'air compris entre la lame isolante et la spirale se comportant comme un conducteur et formant la deuxième armature du condensateur dont le mica est la lame isolante. L'électricité reparaît quand on enlève la lame iso-

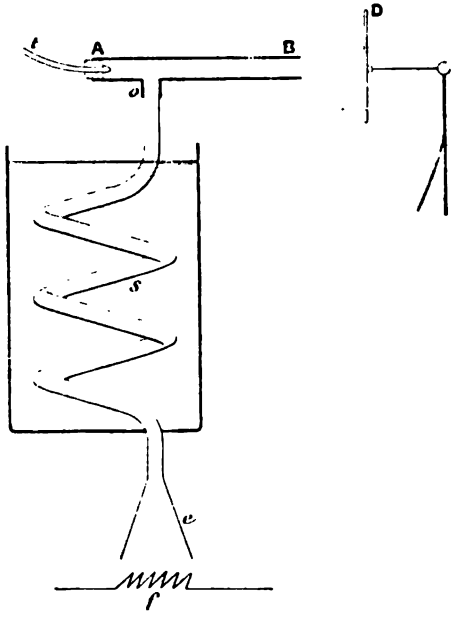
Digitized by Google

lante. Le phénomène reste le même lorsqu'un disque métallique a été superposé à la lame isolante. Les effets que l'on obtient sont, dans l'ensemble, à la rapidité près, les mêmes que si le disque supérieur était relié au sol.

On produit encore la déperdition unipolaire en refroidissant les gaz chauds qui enveloppent le fil de platine incandescent et en les projetant sur le disque.

La figure ci-jointe explique la disposition. La spirale de platine *f*

Fig. 6.



rougie par le courant est au-dessous de l'entonnoir *e* fixé au bas d'un serpentin de 2^m plongé dans l'eau froide. A son extrémité supérieure, le serpentin s'emboîte dans la tubulure *o* d'un tube AB où circule le gaz d'un réservoir à 25^{atm}. Le jet de gaz qui tombe sur le disque D est très froid.

Digitized by Google

Intensité du courant 13 *ampères.*

Disque d'aluminium.	Chute de la feuille d'or.	Durée de la chute.
Négatif	10 à 20	18s
Positif	»	Extrêmement lente

Intensité du courant 20 *ampères.*

Négatif	10 à 20	10s
Positif	»	22

L'aspiration refroidissait beaucoup le fil *f*.

2° *Métal chauffé par la flamme du gaz d'éclairage.* — La façon dont l'incandescence du fil est produite est indifférente. On dirige le jet d'un chalumeau à gaz au centre d'une large lame de platine ou de tôle et parallèlement à cette lame on assujettit sur l'électroscope différents disques métalliques électrisés : la déperdition se produit nettement et rapidement lorsque les disques sont négatifs.

Soit, par exemple, un disque de plomb placé en face d'une lame de platine incandescente, à une distance de 5cm. La feuille est tombée de deux divisions en cent cinq secondes lorsque le disque de plomb était positif, elle est tombée de trente divisions en dix secondes lorsque le disque était négatif.

Le procédé le plus simple pour manifester ces déperditions consiste à faire usage d'une lampe à gaz dont on remplace le verre par un tube du métal que l'on veut porter à l'incandescence. On voit alors comment se comporte, à une distance de quelques centimètres du tube métallique chauffé au rouge sombre, un disque de métal relié à l'électromètre et électrisé. On constate ainsi très aisément que la conductibilité unipolaire de l'air n'est pas toujours de même sens. Avec des tubes de laiton, cuivre rouge, platine, substitués successivement au verre de la lampe, la déperdition est en général extrêmement lente lorsque le disque froid est positif et rapide lorsqu'il est négatif. Avec un tube de nickel, la décharge d'un disque positif était au contraire rapide et la décharge d'un disque négatif extrêmement lente.

Digitized by Google

On ne peut pas pourtant classer les métaux ainsi chauffés au rouge en deux groupes suivant leur nature, les uns produisant une déperdition positive, les autres une déperdition négative. Car un même tube peut donner lieu à l'une ou à l'autre des deux déperditions et quelquefois à toutes les deux également. Ainsi un tube de nickel qui produit d'abord une déperdition positive extrêmement lente produira une déperdition seulement négative ou une déperdition indifférente après avoir été frotté ou poli. Ces inversions, constatées pour différents métaux, prouvent qu'il convient de tenir compte, dans ces phénomènes, non seulement de la nature du métal, de l'oxyde qui le recouvre, mais aussi de l'état physique du métal (écrouissage, recuit, etc.). La nature du gaz exerce-t-elle aussi une influence, je ne l'ai pas encore examiné.

Démonstration plus complète du mécanisme des déperditions électriques. — Dans les expériences précédentes, le métal incandescent communique avec le sol et son état électrique nous échappe. La disposition expérimentale suivante rend apparent, pour les deux métaux en même temps, le mécanisme des échanges électriques.

Le métal incandescent est une spirale de platine. La spirale ayant été d'abord portée au rouge dans la flamme d'un bec Bunsen, son incandescence se reproduit sans flamme si, après avoir éteint la lampe un instant, on dirige de nouveau le courant de gaz sans l'enflammer sur la spirale encore chaude.

Le métal froid et le platine incandescent sont reliés chacun à un électroscope parfaitement isolé. Le métal froid est un tube de laiton T fixé à l'électroscope A, la spirale de platine S suspendue au milieu du tube de laiton prolonge l'électroscope C, un bec Bunsen *b* chauffe la spirale.

Je vais décrire trois séries d'expériences distinctes effectuées successivement en portant la spirale : 1° au rouge sombre sans flamme; 2° à un rouge plus vif sans flamme; 3° au rouge vif dans la flamme.

1° Spirale de platine au rouge sombre (sans flamme). Une toile métallique est posée sur le tube, elle laisse passer les gaz, mais les décharge.

Digitized by Google

A est chargé directement, négativement par une pile de 250 éléments constants, C se charge immédiatement, en même temps à travers le gaz et négativement. A et C sont donc chargés. On touche C avec le doigt, A se décharge comme C; on touche A, C reste chargé.

A est chargé positivement, avec le pôle positif de la pile de 250 éléments (qui va servir dans toutes les charges suivantes soit par son pôle positif, soit par son pôle négatif, le second pôle allant au sol), C ne se charge pas.

C est chargé négativement, A ne se charge pas.

C est chargé positivement, A se charge en même temps et positivement, A et C sont donc chargés tous les deux. On touche C, A reste chargé; on touche A, C se décharge en même temps que A.

Ces expériences se font avec la plus grande facilité et sont très démonstratives. Elles prouvent très nettement que le gaz compris entre le tube et la spirale laisse passer l'électricité négative allant du tube froid à la spirale incandescente et laisse également passer l'électricité positive allant de la spirale incandescente au tube froid. La conductibilité inverse n'a pas lieu.

Si les électroscopes sont munis du conducteur latéral de Gaugain relié au sol et si l'on maintient le pôle négatif de la pile de charge appliqué en A (ou le pôle positif appliqué en C), la feuille mobile de l'électrospe vient se décharger à intervalles réguliers contre la boule du conducteur latéral de l'électroscope C (ou de l'électroscope A), ce qui démontre le passage continu de l'électricité dans le sens énoncé.

2° Spirale de platine à un rouge plus vif, sans flamme. Une plaque de laiton remplace la toile *m*, la température s'élève plus que précédemment dans le tube, mais la plaque s'applique imparfaitement sur le tube et laisse passer un peu d'air, le gaz ne s'enflamme pas.

A est chargé négativement, C se charge rapidement et négativement. On touche C, A se décharge rapidement; on touche A et on maintient le contact, on voit C se décharger lentement.

A est chargé positivement, C se charge lentement et positivement. On touche C, A se décharge lentement; on touche A, C se décharge rapidement.

C est chargé négativement, A se charge lentement et négativement. On touche C, A se décharge rapidement; on touche A, C se décharge lentement.

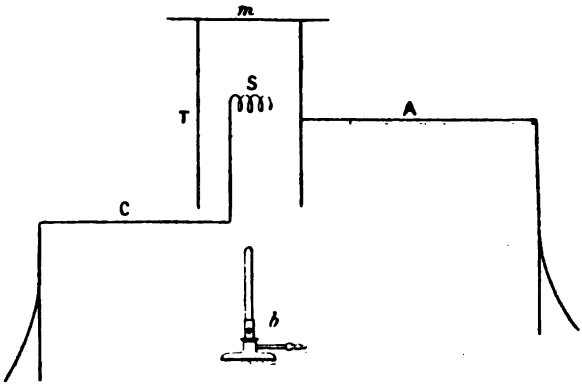
C est chargé positivement, A se charge rapidement et positivement. On touche C, A se décharge lentement; on touche A, C se décharge rapidement.

Digitized by Google

Dans ce second cas, une conductibilité inverse s'est ajoutée à la première, mais elle est plus faible. Toutefois on l'accroît en augmentant le degré de rouge de la flamme.

3° Spirale de platine au rouge vif dans la flamme. Le bec *b* est allumé et sa flamme entoure le platine incandescent; la toile *m* remplace la plaque de laiton.

Fig. 7.



Que l'on charge alors l'un des électroscopes positivement ou négativement, le second se charge immédiatement et prend la même électricité que le premier. En diminuant la flamme, les électroscopes chargés, laissés à eux-mêmes, ne se déchargent que lentement. Si l'on touche l'un des électroscopes avec le doigt, ils se déchargent tous les deux immédiatement.

Ce troisième cas montre bien que les gaz entourant une flamme conduisent également les deux électricités.

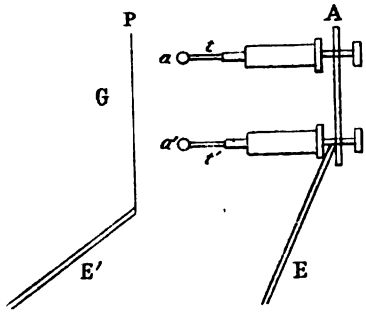
Persistance de la conductibilité unipolaire pour de fortes différences de potentiel. — Elle résulte de la comparaison des distances explosives entre une lame de platine et une sphère métallique selon que le platine est ou n'est pas porté à l'incandescence.

Deux tiges à mouvement micrométrique *t* et *t'*, terminées chacune par une boule de laiton, sont disposées parallèlement et horizontalement en face d'une lame de platine P verticale. Les deux tiges sont reliées métalliquement entre elles par une tige A et par un conducteur E à l'un des pôles d'une petite machine de Voss

Digitized by Google

mise en mouvement de rotation uniforme par un moteur Marcel Deprez; par le conducteur E′ l'autre pôle de la machine va au platine. Le platine étant froid sur toute sa surface, les deux boules doivent être approchées à la même distance de la lame de platine pour que les étincelles qui vont du platine aux boules partent indifféremment de l'une ou de l'autre boule.

Fig. 8.



Chauffons avec un chalumeau à gaz placé en G la portion de la surface du platine qui regarde la boule a et désignons par d la distance de la boule a à la lame de platine, c'est-à-dire la distance explosive pour la boule a, par d' la distance explosive pour la boule a'. On fait varier ces distances jusqu'à ce que les étincelles partent indifféremment à la fois de a vers P ou de a' vers P.

Voici quelques nombres mesurant ces distances explosives dans deux séries d'expériences relatives à une incandescence différente de la région G du platine qui regarde a.

Série n° 1	Boules positives.....	$d = 10^{mm}$	$d' = 10,0^{mm}$
	Boules négatives.....	$d = 10$	$d' = 7,0$
Série n° 2	Boules positives.....	$d = 10$	$d' = 10,5$
	Boules négatives.....	$d = 10$	$d' = 4,0$

Sur une même ligne d et d' sont des distances explosives équivalentes. Si, par exemple, nous considérons la dernière ligne de mesures, nous voyons qu'une couche d'air de 10^{mm} en face du platine rouge n'offre pas plus de résistance au passage de l'électricité qu'une couche de 4^{mm} en face du platine froid, lorsque les deux boules a et a' sont toutes les deux négatives.

Digitized by Google

Dans ces expériences, j'ai dû me mettre en garde contre les changements de pôles de la machine de Voss. En opérant dans une demi-obscurité, j'étais prévenu immédiatement de ces changements de pôle survenant d'ordinaire au moment où les conducteurs E et E′ étaient échangés.

Déperditions produites par des corps incandescents non métalliques. — La décharge d'un conducteur électrisé peut avoir lieu en présence d'un conducteur incandescent quelconque. C'est ainsi qu'on décharge vivement un corps électrisé négativement en lui présentant un tube de verre chauffé à l'une de ses extrémités à la température du rouge; on a introduit dans l'axe du tube de verre jusqu'à 1^{cm} environ de l'extrémité rouge un fil métallique qui permet à l'électricité enlevée de s'écouler. Un morceau de charbon de bois porté au rouge sombre et soutenu par un fil métallique déchargera au contraire rapidement un électroscope positif et lentement un électroscope négatif; mais il enlève rapidement les deux électricités s'il est porté au rouge vif.

En plongeant à plusieurs reprises dans un oxyde métallique pulvérisé l'extrémité d'un tube de verre chauffée au rouge et en la chauffant de nouveau, le verre se recouvre d'une couche fondue qui agit d'une façon variable suivant la nature de l'oxyde. Ces enduits, portés au rouge sombre, produisent une vive déperdition sur un conducteur froid électrisé distant de quelques centimètres. Avec le peroxyde de bismuth, le peroxyde de plomb, on obtenait une déperdition positive, la déperdition négative était très faible. Certains autres oxydes produisaient une déperdition négative.

On obtient des résultats semblables en recouvrant de métaux porphyrisés ou d'oxydes métalliques pulvérisés la surface externe des tubes de verre d'une lampe à gaz et en les plaçant sur la lampe, l'enduit est alors porté au rouge très sombre. Tantôt la déperdition produite a été négative, comme avec la poudre de platine, tantôt positive, comme avec la poudre d'aluminium, le peroxyde de bismuth, le peroxyde de plomb, tantôt il y a eu une double déperdition.

Expériences antérieures. — Les expériences relatives à la conductibilité des gaz sont très nombreuses et souvent très com-

Digitized by Google

pliquées, beaucoup déjà anciennes sont restées isolées et incomplètes. Plusieurs se rapportent directement à la conductibilité d'une couche d'air comprise entre un corps incandescent et un corps froid.

Erman fit connaître en 1819 l'expérience suivante : une lampe sans flamme est posée sur un électroscope avec lequel elle est reliée métalliquement, l'électroscope se charge quand on approche de la spirale de platine incandescente le pôle négatif d'une pile sèche, il ne se charge pas ou à peine quand on approche de la spirale incandescente le pôle positif de la pile.

En 1873, Guthrie fait voir qu'un fil de platine porté au rouge par un courant décharge plus facilement un électroscope chargé négativement qu'un électroscope chargé positivement.

Un peu plus tard, Douliot montre qu'un charbon incandescent décharge un électroscope chargé positivement et agit à peine sur un électroscope chargé négativement.

On trouve aussi, dans les expériences d'Edm. Becquerel sur la conductibilité de l'air entre deux surfaces incandescentes, certaines particularités qui font entrevoir les conductibilités unipolaires que nous avons étudiées.

Sur la détermination de la densité des gaz liquéfiés et de leurs vapeurs saturées. Éléments du point critique de l'acide carbonique; par M. Amagat.

L'une des méthodes employées pour déterminer la densité de vapeur des gaz liquéfiés consiste à estimer dans la tige graduée du tube à pression le volume occupé par le fluide au moment où, par suite d'une variation très lente de pression, on voit soit apparaître la première trace de liquide, soit disparaître la dernière trace de celui qui s'était formé. Les nombreuses observations que j'ai faites m'ont montré qu'il est extrêmement difficile de saisir avec certitude le moment exact de l'apparition ou de la disparition.

Il est encore plus difficile de déduire la densité du gaz liquéfié du volume qu'il occupe au moment où la dernière bulle de vapeur disparaît; il suffit, en effet, d'une trace d'air absolument insigni-

Digitized by Google

fiante pour retarder de beaucoup ce point de liquéfaction totale qui correspond toujours à une pression notablement supérieure à la tension maxima.

Pour se mettre complètement à l'abri des retards relatifs aux changements d'état, il importe de n'opérer que sur des corps qui sont à l'état d'équilibre normal, comme cela a lieu, après un temps suffisant, quand le liquide et la vapeur sont l'un et l'autre en quantités suffisantes; la méthode que j'indiquerai plus loin, et dans laquelle cette condition est réalisée, peut conduire à de très bons résultats. Je l'ai appliquée seulement à l'acide carbonique; les circonstances ne m'ayant pas permis de donner à ces recherches le développement que j'avais projeté, je ne crois pas devoir différer plus longtemps la publication de résultats obtenus depuis près de deux ans et que j'ai, du reste, communiqués déjà en partie à un grand nombre de personnes.

Voici comment j'ai opéré : on liquéfie d'abord une partie du gaz de manière que le volume du liquide soit, par exemple, le dixième de celui de la vapeur et, quand l'équilibre est parfaitement établi, on fait la lecture des deux volumes; on pousse alors la liquéfaction de manière à tripler ou quadrupler la quantité du liquide, et l'on mesure de même les nouveaux volumes.

Si ΔV et $\Delta V'$ sont l'augmentation du volume du liquide et la diminution du volume de vapeur quand on passe du premier équilibre au second, on a évidemment, D et D′ étant les densités sous les deux états,

$$\frac{\Delta V}{\Delta V'} = \frac{D'}{D}.$$

D'autre part, si V et V′ sont les volumes du liquide et de la vapeur pendant l'un des deux équilibres, on aura évidemment encore

$$VD + V'D' = P,$$

P étant le poids du gaz sur lequel on opère, d'où l'on déduit D et D′.

Laissant de côté divers détails, notamment en ce qui concerne l'obtention des températures constantes, je dirai seulement qu'il a été tenu compte dans l'estimation des volumes de la forme que prennent les ménisques aux différentes températures; on remarquera, du reste, que cette correction n'intéresse point le calcul

Digitized by Google

du *rapport* des densités; elle s'élimine dans la détermination de ΔV et $\Delta V'$.

La difficulté des déterminations croît très rapidement quand on s'approche du point critique; l'instabilité de la matière finit par devenir telle qu'on ne peut plus arriver à obtenir une position fixe du ménisque. J'ai observé dans ces essais diverses apparences qui, je crois, n'ont pas encore été signalées et que j'indiquerai rapidement.

Il peut arriver qu'en comprimant lentement, le ménisque disparaisse à une température notablement inférieure à celle du point critique, à 30°,5 par exemple; tant que le ménisque existe, les génératrices intérieures du tube paraissent brisées à son niveau (le ménisque est, ici, plan) à cause de la différence des indices, de manière à produire l'apparence d'une diminution brusque de diamètre intérieur; au moment où le ménisque s'efface la brisure disparaît et est remplacée par deux courbes raccordant très régulièrement les deux parties de chaque génératrice; la densité paraît alors passer d'une façon continue par toutes les valeurs, depuis D jusqu'à D'.

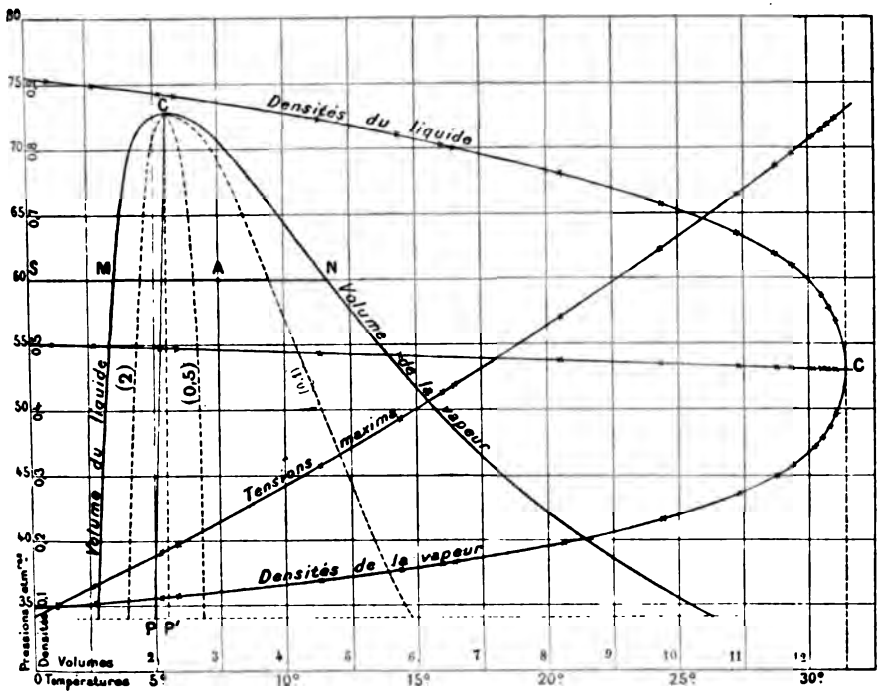
Cette apparence est très fugitive; une bande horizontale opaque ressemblant à une épaisse émulsion surgit tout à coup vers le milieu de la courbure, puis disparaît; le ménisque reparaît alors ainsi que la brisure des génératrices; à ce moment il arrive parfois qu'une pluie de fines gouttelettes sphériques extrêmement nettes se produise au sein de la vapeur et vienne frapper le ménisque qu'elle agite violemment. Dans certains cas, l'effet produit par ces gouttelettes rappelle tout à fait, sauf le sens, celui des bulles de vapeur au sein du liquide quand l'ébullition n'est point tumultueuse; j'ai vu plusieurs fois les deux phénomènes se produire simultanément : l'effet de ces deux pluies allant à la rencontre l'une de l'autre est assez curieux. J'ai cherché à obtenir des photographies instantanées de ces phénomènes dans un jet de lumière électrique, mais, comme ils sont très fugitifs et qu'il est assez difficile d'en préciser les conditions, j'ai réussi seulement à saisir les courbes de raccordement et la bande opaque qui s'y produit au moment où le ménisque va reparaître.

Ces faits peuvent donner une idée des difficultés que présentent les mesures quand on arrive à quelques dixièmes de degré du

Digitized by Google

point critique; les expérimentateurs, du reste, se sont en général arrêtés à une distance assez notable de ce point; j'ai pu cependant arriver jusqu'à 31°,00 dans de bonnes conditions de régularité.

Fig. 1.



J'ai d'abord représenté les résultats par une courbe obtenue en portant les températures en abscisses et sur les ordonnées les deux densités correspondantes; cette courbe, ainsi qu'on le voit sur le diagramme ci-contre (*fig.* 1), a, comme celle de MM. Cailletet et Mathias, sensiblement l'aspect général d'une parabole à diamètre légèrement incliné sur l'axe des températures; le lieu du milieu des cordes est rigoureusement rectiligne, le sommet de la courbe est beaucoup plus aplati que celui d'une parabole proprement dite, ce qui correspond, en approchant de la température critique, à un rapprochement extrêmement rapide des valeurs des deux densités; comme les mesures ont été poursuivies jusqu'à quelques dixièmes de degré de cette température, il est facile de voir que les deux

Digitized by Google

branches de courbe tendent nettement à se raccorder; on peut faire ce raccordement avec beaucoup de précision. On voit sur le même diagramme la courbe des tensions de vapeur avec les mêmes températures en abscisses et les pressions en ordonnées, de sorte que l'intersection de cette courbe par l'ordonnée du point de raccordement donne de suite la pression critique.

On trouve ainsi, pour les éléments du point critique,

$$T = 31,35, \qquad H = 72^{atm},9, \qquad D = 0,464.$$

J'ai ensuite représenté les mêmes résultats au moyen d'une courbe de liquéfaction analogue à celle résultant du diagramme d'Andrews (pressions en ordonnées et volumes en abscisses); on voit qu'elle est, de même que les deux premières, parfaitement régulière. Considérons l'une des cordes horizontales MN de cette courbe; cette corde appartient à l'une des isothermes : c'est la partie correspondante à la liquéfaction; les abscisses de M et N sont les deux volumes spécifiques, les segments AN et AM sont dans le rapport des poids du liquide et de la vapeur : le rapport du volume de la partie liquéfiée à celle restée gazeuse est par suite $\frac{AN}{AM}\frac{SM}{SN}$; on peut donc déterminer le point A de telle sorte que ce rapport ait une valeur donnée, et, en faisant de même pour un nombre suffisant de cordes (soit de températures), obtenir le lieu de ces points; je suis arrivé à ce résultat extrêmement simple que : le lieu des points pour lesquels les volumes de vapeur et de liquide sont égaux est rigoureusement une ligne droite presque perpendiculaire à l'axe des abscisses; par suite, le volume total varie très peu : il serait rigoureusement constant et égal au volume critique si la droite était tout à fait perpendiculaire.

Les courbes ponctuées portant les indications (2), (0,5), (0,1) sont les lieux correspondants aux rapports représentés par ces nombres; elles aboutissent toutes, bien entendu, au point C représentatif de l'état critique; il est facile de voir que le lieu CP′ qui aboutirait à l'abscisse du point C ne différerait pas pratiquement d'une ligne droite normale à l'axe des abscisses; pour le rapport correspondant qui est sensiblement égal à 0,8, le volume total serait donc invariable; si un tube de Natterer était rempli dans ces conditions, son ménisque conserverait donc une position fixe à

Digitized by Google

toutes les températures : il suffirait pour cela qu'il contienne un poids d'acide carbonique égal à l'unité sous un volume égal au volume spécifique critique.

Il est intéressant de chercher comment les lieux des points, pour lesquels le rapport des volumes du liquide et de la vapeur est constant, dépendent de la courbe des densités et, en particulier, de l'inclinaison de son diamètre.

Soit K le rapport des deux volumes coexistants au point A de la corde MN, on a, d'après ce qui a été dit,

$$(1) \qquad K = \frac{AN}{AM} \times \frac{SM}{SN} = \frac{W' - V}{V - W} \times \frac{W}{W'} = \frac{\left(\frac{1}{D} - V\right)\frac{1}{D}}{\left(V - \frac{1}{D'}\right)\frac{1}{D'}},$$

W et W′ étant les deux volumes spécifiques et V le volume total, ordonnée du point A; on en tire

$$(2) \qquad V = \frac{K + 1}{KD + D'}.$$

C'est la relation qui a servi à tracer les lieux qui sont représentés par les courbes ponctuées. D'autre part, les ordonnées du diamètre de la courbe des densités sont les valeurs de $\frac{D + D'}{2}$; par suite, l'équation de ce diamètre est de la forme

$$(3) \qquad \frac{D + D'}{2} = -mt + b,$$

son coefficient angulaire étant négatif.

La relation (2), en tenant compte de (3), peut s'écrire

$$(4) \qquad V = \frac{K + 1}{(K - 1)D - 2mt + b}.$$

Cette relation, qui convient à tous les lieux ponctués, devient, pour $K = 1$,

$$(5) \qquad V = \frac{1}{-mt + b}.$$

C'est l'équation d'une hyperbole; la branche qui nous intéresse est asymptotique à l'axe de t, dans la partie correspondant au phé-

Digitized by Google

nomène, elle tourne vers cet axe une convexité extrêmement faible; V augmentant, mais peu, avec t, elle diffère assez peu d'une droite verticale, car c'est ce qu'elle devient pour $m = 0$ et m est très petit.

Sur le diagramme, ce n'est pas cette courbe qui a été construite, puisqu'on a porté sur les ordonnées non les températures, mais les pressions; même dans ces conditions, la courbe serait encore une hyperbole si les pressions étaient proportionnelles aux températures, ce qui n'a pas lieu, la courbe des tensions maxima n'étant pas une ligne droite.

Il est facile de voir de quelle façon la substitution des pressions aux températures, en ordonnées, va modifier la forme de l'hyperbole. Il résulte, en effet, du sens de la concavité de la courbe des tensions de vapeur, qu'on sera conduit à écrire en chaque point de l'ordonnée une pression correspondant à une température supérieure à celle qui y était primitivement écrite; par suite, la valeur de V se trouvera augmentée (puisque V croît avec t) et d'autant plus qu'on s'écartera davantage des extrémités P et C qui restent fixes; il résultera de là une diminution de la courbure de l'hyperbole qui pourra se trouver complètement détruite : on comprend donc que le lieu puisse devenir une ligne rigoureusement droite, ainsi que je l'ai trouvé.

On pourra même se proposer, partant de là, de déterminer la forme de la fonction $p = \varphi(t)$, en exprimant que le changement de variable qui vient d'être fait transforme l'hyperbole en ligne droite; c'est un point que j'examinerai à part.

Le lieu CP jouit, par rapport à la courbe de liquéfaction, ou mieux ici des volumes spécifiques, d'une propriété analogue à celle du diamètre de la courbe des densités; dans le cas actuel, en effet, ($k = 1$) le volume spécifique moyen se confondant avec la moyenne des volumes spécifiques, les abscisses de CP sont les moyennes des deux volumes coexistants, comme les ordonnées du diamètre de la courbe des densités sont les moyennes des deux densités. On remarquera encore que, pour $m = 0$, CP deviendrait, qu'on prenne pour ordonnées les températures ou les pressions, une droite perpendiculaire à l'axe des volumes; dans ce cas particulier, d'un corps pour lequel le diamètre de la courbe des densités serait horizontal, cas qui, je crois, ne s'est pas encore pré-

Digitized by Google

senté, les variations des deux densités avec la température seraient constamment égales, et l'égalité des volumes du liquide et de la vapeur entraînerait l'invariabilité du volume total.

A propos des courbes dont je viens de parler, M. Raveau vient de signaler une assez curieuse propriété des tubes de Natterer, dont il a donné la démonstration (*voir* p. 213).

D'autre part, ainsi que M. Vaschy me l'a fait remarquer : il résulte de la relation (2) que la valeur de V doit passer par un maximum qui correspond au minimum du dénominateur, c'est-à-dire qui a lieu pour

$$K.dD + dD' = 0,$$

soit pour

$$K = -\frac{\frac{dD'}{dt}}{\frac{dD}{dt}},$$

D et D' ne dépendant que de t; et cette relation paraissant toujours devoir être satisfaite, puisque précisément les deux dérivées sont de signes contraires, on se trouverait en présence d'un résultat en contradiction avec la forme des courbes ponctuées tracées qui ne paraissent point susceptibles d'avoir une tangente verticale.

Il est facile de lever cette difficulté : pour que le maximum puisse avoir lieu, il faut que le rapport des dérivées puisse devenir égal à K; si le diamètre de la courbe de densités était horizontal, le rapport en question, qui est celui des tangentes aux deux extrémités d'une même corde, serait toujours égal à l'unité; en réalité, à cause de la faible inclinaison du diamètre, il diffère toujours très peu de cette valeur : par suite, il ne pourra y avoir de maximum de V que pour des lieux extrêmement voisins de PC; on peut même voir facilement que ces lieux sont tous placés à droite de cette ligne, car il résulte du sens de l'inclinaison du diamètre qu'on a évidemment

$$\frac{dD'}{dt} < \frac{dD}{dt}, \qquad \text{et par suite} \qquad K < 1.$$

Ces courbes, que je n'ai pas construites, sont vraisemblablement toutes placées entre CP et CP', car, pour cette dernière ligne, on

Digitized by Google

a déjà K = 0,8. Pratiquement, ce sont donc des lignes très sensiblement droites.

Toutefois, il est intéressant de voir si l'existence de ces lignes ne met pas en défaut la démonstration de M. Raveau, quant à ce qui est de la propriété indiquée par la seconde phrase soulignée (la première étant indépendante de ce fait), laquelle suppose que les courbes ponctuées ne présentent point de maximum de V.

J'ai tracé le lieu des points P (figure ci-dessus), d'où les perpendiculaires sont abaissées; on voit alors facilement que chaque perpendiculaire ne rencontre, entre les cordes qui lui correspondent, que des courbes non susceptibles de maximum; par suite la démonstration de M. Raveau conserve sa valeur; elle ne s'applique, du reste, qu'au cas où le volume constant (pour un poids égal à l'unité) est inférieur au volume critique, car le lieu des points P, d'où sont abaissées les perpendiculaires, est tout entier à gauche du point auquel aboutissent les lieux ponctués (point critique).

Voici maintenant le Tableau résumant mes résultats; il donne à toutes les températures depuis zéro les deux densités et la tension maxima.

T.	Densité du liquide.	Densité de la vapeur.	Tension maxima.	T.	Densité du liquide.	Densité de la vapeur.	Tension maxima.
			atm				atm
0°.....	0,914	0,096	34,3	18°.....	0,786	0,176	53,8
1.....	0,910	0,099	35,2	19.....	0,776	0,183	55,0
2.....	0,906	0,103	36,1	20.....	0,766	0,190	56,3
3.....	0,900	0,106	37,0	21.....	0,755	0,199	57,6
4.....	0,894	0,110	38,0	22.....	0,743	0,208	59,0
5.....	0,888	0,114	39,0	23.....	0,731	0,217	60,4
6.....	0,882	0,117	40,0	24.....	0,717	0,228	61,8
7.....	0,876	0,121	41,0	25.....	0,703	0,240	63,3
8.....	0,869	0,125	42,0	26.....	0,688	0,252	64,7
9.....	0,863	0,129	43,1	27.....	0,671	0,266	66,2
10.....	0,856	0,133	44,2	28.....	0,653	0,282	67,7
11.....	0,848	0,137	45,3	29.....	0,630	0,303	69,2
12.....	0,841	0,142	46,4	30.....	0,598	0,334	70,7
13.....	0,831	0,147	47,5	30,50..	0,574	0,356	71,5
14.....	0,822	0,152	48,7	31,0...	0,536	0,392	72,3
15.....	0,814	0,158	50,0	31,25..	0,497	0,422	72,8
16.....	0,804	0,164	51,2	31,35..	0,464	0,464	72,9
17.....	0,796	0,170	52,4				

Digitized by Google

La température et la pression critique données plus haut sont un peu plus faibles que celles qu'avait déduites M. Sarrau de mes expériences de 1880, mais il faut remarquer que, dans ces expériences, l'unité de volume n'avait pas été spécifiée, ce qui, nécessairement, a dû entraîner un peu d'incertitude dans les calculs; d'autre part, dans les expériences actuelles, le gaz était beaucoup plus pur : essayé à la potasse dans le tube même où il avait été étudié, il n'a laissé qu'un résidu inférieur à $\frac{1}{4000}$, ce qui n'a pu que diminuer la valeur des constantes en question.

Dans son travail sur les fondements de la théorie cinétique des gaz (*Transact. Royal Soc. of Edinburg,* avril 1891), dont les vérifications numériques ont été faites avec les données du réseau que j'ai publié en 1891, M. Tait a calculé les constantes du point critique au moyen de relations spécialement établies en vue de ces déterminations; il fixe la pression critique à 73^{atm}, la température critique un peu au-dessus de 31°, et il donne, pour limites des volumes critiques, deux nombres dont la moyenne conduit à une densité extrêmement peu différente du nombre auquel je viens d'arriver (j'ai donné, dans ma première Note : $P = 72^{atm},9$, $T = 31°,3$, $D = 0,464$); ces résultats du présent travail présentent donc, avec ceux qui se déduisent de mon dernier réseau d'isothermes, une concordance aussi parfaite qu'on peut le désirer.

SÉANCE DU 3 JUIN 1892.

Présidence de M. Violle.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 mai est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. Léon Vidal, Professeur à l'École nationale des Arts décoratifs, à Paris.

M. le Président annonce à la Société la perte douloureuse qu'elle vient de faire en la personne de M. *le comte d'Orléans*, colonel d'état-major en retraite.

Sur la coexistence du pouvoir diélectrique et de la conductibilité électrolytique; par M. Bouty. — 1. Beaucoup de corps isolants à froid

Digitized by Google

deviennent des électrolytes à une température suffisamment élevée. Comment s'opère la transition? Y a-t-il à partir d'une certaine température coexistence du pouvoir diélectrique et de la conductibilité électrolytique et quels en sont les effets? Telles sont les questions que M. Bouty a étudiées dans le travail dont il rend compte à la Société.

Les appareils et les méthodes employés sont en général les mêmes qui ont servi dans l'étude des propriétés diélectriques du mica. L'organe le plus important est un pendule de torsion interrupteur qui permet de fermer, pendant des durées t comprises entre $0^s,0001$ et $0^s,03$ le circuit d'une pile de très faible résistance sur l'appareil A que l'on veut étudier. Un microfarad auxiliaire emmagasine une charge égale à celle qui est débitée par la pile; on mesure cette charge à l'aide d'un électromètre capillaire étalonné à cet effet.

Supposons d'abord que l'appareil A est un condensateur parfait de capacité C négligeable par rapport à celle du microfarad; ce dernier reçoit, en moins de $0^s,0001$, de la pile de force électromotrice E, une charge CE, que l'on retrouvera identique à elle-même, quelle que soit la durée t de fermeture du circuit.

Remplaçons le condensateur par une auge électrolytique de capacité électrostatique pratiquement nulle et de très grande résistance r. En moins de $0^s,0001$ les électrodes sont portées à une différence de potentiel égale à celle de la pile et, la polarisation qui peut se produire en $0^s,03$ au plus étant négligeable, l'auge débitera une quantité d'électricité $\frac{E}{r}t$ proportionnelle à la durée de fermeture du circuit, qui sera emmagasinée par le microfarad. Ces résultats, pour ainsi dire évidents, ont été cependant vérifiés par de nombreuses expériences.

Arrivons au cas pratique où l'appareil A est un condensateur dont le diélectrique possède une certaine conductibilité électrolytique. On devra observer la superposition des effets précédents, et le microfarad emmagasinera une charge totale

$$Q = CE + \frac{E}{r}t; \tag{1}$$

l'expérience montre qu'il en est bien réellement ainsi.

2. Nous supposons qu'avant l'introduction du diélectrique le même condensateur a d'abord été employé comme condensateur à lame d'air et a reçu, de la même pile, une charge q. On a par définition, en désignant par k la constante diélectrique,

$$q = \frac{C}{k}E, \tag{2}$$

$$\frac{Q}{q} = k + \frac{k}{Cr}t. \tag{3}$$

Digitized by Google

On a d'ailleurs la relation bien connue

$$(4) \qquad Cr = \frac{k\rho}{4\pi},$$

où ρ désigne la résistance spécifique évaluée dans le système électrostatique. Il en résulte

$$(5) \qquad \frac{Q}{q} = k + \frac{4\pi}{\rho} t.$$

On voit que la mesure de Q et de q, en unités arbitraires, détermine k et ρ. Il n'y a d'autre mesure absolue à exécuter que celle de t.

Pour que les expériences soient possibles, il faut que les deux termes du second membre de (5) soient du même ordre de grandeur, ce qui, avec un interrupteur de précision déterminée, impose à ρ une limite supérieure et une limite inférieure. Avec mon pendule donnant au plus le dix-millième de seconde, les limites de la résistance spécifique évaluée dans le système électromagnétique sont voisines de 10^{12} ohms et de 10^{9} ohms. Pour des résistances supérieures à 10^{13} ohms le terme en t sera insensible et l'on ne mesurera que k; pour des résistances moindres que 10^{9} ohms on ne mesurera que ρ.

Il faut noter que les plus fortes résistances spécifiques déterminées par M. Foussereau pour l'eau distillée et l'alcool absolu sont seulement de 7.10^{8} ohms et de 7.10^{6} ohms.

On a pu opérer : 1° sur des mélanges d'un bon isolateur tel que la benzine, le sulfure de carbone ou l'essence de térébenthine avec quelques centièmes d'alcool ou d'éther; 2° sur la glace; 3° sur les azotates alcalins à une température suffisamment inférieure à leur point de fusion.

3. Parmi les mélanges liquides, M. Bouty a principalement étudié les mélanges de benzine et d'alcool. La constante diélectrique croît à peu près proportionnellement à la quantité d'alcool ajouté; on en déduit, par la règle des mélanges, la constante diélectrique de l'alcool qui serait voisine de 8. MM. Cohn et Arons, M. Rosa avaient trouvé des nombres trois fois plus forts.

En ce qui concerne la résistance des mélanges, les premières traces d'alcool modifient à peine la résistance de la benzine, tandis que les portions suivantes accroissent la conductibilité dans un rapport de plus en plus grand, quoique toujours inférieur à celui que l'on calculerait par la règle des mélanges. On doit en conclure que la conductibilité de l'alcool est due en majeure partie à des impuretés, sans doute insolubles dans la benzine pure, et l'on peut craindre que le pouvoir diélectrique et la conductibilité électrolytique superposés dans ces expériences n'appartiennent réellement pas aux mêmes molécules.

4. Les expériences sur la glace sont remarquables par la valeur très élevée de la constante diélectrique qu'elles fournissent, $k = 78$. Cette va-

Digitized by Google

leur est presque identique à celle qu'avaient déterminée antérieurement MM. Cohn et Arons et M. Rosa dans leurs expériences sur l'eau distillée.

5. Mais les expériences auxquelles M. Bouty attache la plus grande importance se rapportent aux azotates alcalins solides et notamment au mélange à équivalents égaux d'azotate de potasse et de soude. Pour ce dernier mélange la constante diélectrique, voisine de 4, ne varie pas du sixième de sa valeur dans des limites de température où la conductibilité croît dans le rapport de 1 à 138.

Dans ces dernières expériences on a dû prendre des précautions particulières pour empêcher la formation d'une couche superficielle hygrométrique et conductrice; celle-ci n'existant pas, on ne peut attribuer la conductibilité qu'au sel lui-même, dont les impuretés ne peuvent exercer aucune influence appréciable.

L'ensemble de ces expériences et d'autres analogues, sur les résidus, ne laisse subsister aucun doute sur la réalité du phénomène étudié. Il est vraisemblable que les électrolytes vulgaires (sels fondus, dissolutions salines concentrées), s'il était possible de leur appliquer les mêmes méthodes, fourniraient des résultats de même nature. M. Bouty pense donc qu'il n'y a d'autre distinction à établir entre un électrolyte et un diélectrique que celle qui résulte de l'ordre de grandeur de leur conductibilité.

Dans le schéma de Grotthuss, l'orientation des molécules qui précède leur décomposition correspondrait à la polarisation diélectrique de l'électrolyse.

M. Amagat donne des détails complémentaires sur les courbes de l'acide carbonique dont il a entretenu la Société dans la précédente séance; il montre comment les lieux des points pour lesquels le rapport des volumes de liquide et de vapeur est constant dépend de la courbe des densités et de l'inclinaison de son diamètre.

La ligne droite qui représente ce lieu dans le cas où les volumes sont égaux serait rigoureusement verticale si le diamètre de la courbe des densités était horizontal; ce même lieu serait une hyperbole si l'on prenait pour ordonnées les températures au lieu des pressions; ce fait, qui peut s'expliquer par la forme de la courbe des tensions maxima, peut conduire à une détermination de l'équation de cette courbe.

M. Amagat examine ensuite, à propos d'une remarque qui lui a été faite par M. Vaschy, quels sont ceux des lieux géométriques en question qui peuvent présenter des maxima du volume, et montre la position qu'ils doivent occuper; cette question intéresse particulièrement la démonstration donnée à la séance précédente d'une propriété des tubes de Natterer qui suppose la non-existence de ces maxima, au moins dans une certaine région du diagramme; depuis, M. Amagat a examiné la question et a trouvé que la position des lieux susceptibles d'un maximum du volume est telle, qu'elle ne modifie en rien la démonstration de M. Raveau.

Il termine en signalant la concordance qui existe entre les constantes

Digitized by Google

critiques qu'il vient de donner et celles qui ont été calculées par M. Tait au moyen du réseau d'isothermes publié par lui en 1891.

Sur la diffraction éloignée; par M. Hurmuzescu. — Dans la diffraction ordinaire, d'après la théorie de Fresnel, un écran d'une matière quelconque ne fait qu'enlever totalement la partie de l'onde en produisant le même effet que si celle-ci n'existait pas, pour le point où l'on considère le phénomène lumineux, sans agir d'aucune autre façon sur le restant de l'onde vu du point considéré.

Dans la diffraction dite *éloignée*, le phénomène dépend de la nature de l'écran et de l'épaisseur du bord près duquel passe la lumière (fait mis en évidence par M. Gouy).

L'appareil employé par M. Hurmuzescu se composait du cercle horizontal gradué d'un goniomètre; au centre se trouvait l'arête très fine et verticale d'un écran métallique indéfini; sur cette arête était pointé un microscope, dont le grossissement était de 150, et qui tournait sur le cercle horizontal autour de cette arête comme axe de rotation.

Le biseau qui formait l'arête était éclairé avec de la lumière solaire parallèle envoyée par un héliostat de Silbermann.

Un point important était la préparation des arêtes. Pour cela, M. Hurmuzescu employait un petit moteur hydraulique; la pièce métallique, qui servait à préparer l'écran, rendue solidaire du piston, en suivait le va-et-vient et frottait légèrement sur des pierres à repasser à grains de plus en plus fins. On finissait ce travail en repassant la lame sur des cuirs à rasoir.

On a pu obtenir ainsi avec l'acier trempé des arêtes extrêmement fines, moins fines pour le laiton et le cuivre; le travail a été très difficile pour le zinc. Les expériences n'ont été faites que sur des lames dont le tranchant paraissait bien rectiligne au microscope.

L'observation dans l'ombre géométrique donne les résultats suivants :

A toute déviation apparaît dans le champ obscur du microscope une bande lumineuse parcourue longitudinalement par des franges d'interférence noires et très fines.

L'intensité lumineuse diminue avec la déviation et avec l'épaisseur du tranchant; mais ce phénomène est visible jusqu'au delà de 100°.

Au-dessus de 30° de déviation, une coloration se manifeste, qui s'accentue de plus en plus à mesure que la déviation augmente; cette coloration caractéristique de chaque métal rappelle sa couleur superficielle; ainsi avec le laiton

La couleur est rose à.....	35°
Elle est rouge orangé à.....	58
Et au-dessus elle est rouge à.....	70

Avec le cuivre la prédominance du rouge est plus vive. Avec l'acier bien peu de coloration, et avec le zinc une coloration plutôt bleue.

Si la lumière qui tombe sur l'arête de l'écran est naturelle, la lumière

Digitized by Google

diffractée est partiellement polarisée dans le plan perpendiculaire au plan de diffraction, c'est-à-dire parallèlement à l'arête de l'écran. Cette polarisation augmente avec la déviation et devient complète vers 100°.

Si la lumière incidente est polarisée dans un des azimuts principaux, la lumière diffractée reste la même.

Pour un azimut intermédiaire, la lumière diffractée donne une polarisation elliptique pour les déviations au-dessus de 45°.

Il y a lieu de faire un rapprochement entre ces expériences et celles de M. Kundt sur la mesure des indices de réfraction des métaux.

En considérant les faits décrits plus haut comme dus à la diffraction, dans quel cas la théorie de Fresnel se trouve en défaut? Les mesures faites par M. Kundt ne donnent pas du tout les indices de réfraction exactes des métaux.

Au contraire, en supposant que les phénomènes sont dus à une réfraction à travers le tranchant de l'écran, la polarisation elliptique se trouve expliquée (déjà vue par Faraday); il ne reste que la coloration inexplicable, si l'on ne considère qu'une réfraction ordinaire.

M. Hurmuzescu a employé aussi des écrans faits avec un diélectrique (ébonite et fibre vulcanisée) : ici il n'a pas observé de polarisation elliptique.

L'auteur se propose de reprendre les expériences avec des appareils mieux appropriés.

Sur la coexistence du pouvoir diélectrique et la conductibilité électrolytique; par M. E. Bouty (1).

1. Beaucoup de corps isolants à froid deviennent des électrolytes à une température suffisamment élevée. Comment s'opère la transition? Y a-t-il, à partir d'une certaine température, coexistence du pouvoir diélectrique et de la conductibilité électrolytique et quels en sont les effets (2)? Telles sont les questions que je me suis posées et qui m'ont amené à entreprendre le présent travail.

2. Les appareils et les méthodes que j'ai employés sont les

---

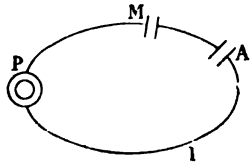
(1) Extrait d'un Mémoire plus étendu publié dans les *Annales de Chimie et de Physique,* 6e série, t. XXVII; septembre 1892.

(2) MM. Cohn et Arons (*Wied. Ann.,* t. XXVIII, p. 454; 1886 et *Journal de Physique,* 2e série, t. VI, p. 546) ont prouvé les premiers que l'on considérait à tort comme infinie la constante diélectrique des corps conducteurs, et démontré expérimentalement la superposition du pouvoir diélectrique et de la conductibilité dans un certain nombre de liquides mauvais conducteurs.

Digitized by Google

mêmes qui m'ont déjà servi dans l'étude des propriétés diélectriques du mica [1], ce qui me permettra d'être très bref. Le circuit d'une pile P (*fig.* 1) de force électromotrice E constante

Fig. 1.



et de faible résistance contient : 1° l'appareil A (condensateur ou auge électrolytique) que l'on veut étudier; 2° un microfarad auxiliaire M; 3° un pendule interrupteur I qui permet de fermer le circuit pendant des temps t connus, très courts et variables à volonté.

Supposons d'abord que A est un condensateur à diélectrique parfait, dont la capacité C est négligeable par rapport à celle du microfarad. Quand l'équilibre électrique est établi, la charge q_1 du microfarad est égale à celle du condensateur A et cette dernière a très sensiblement pour valeur

$$q_1 = CE. \tag{1}$$

Si la résistance de la pile et des conducteurs est négligeable, l'équilibre pourra être considéré comme atteint au bout d'un temps θ très court, moindre que un dix-millième de seconde par exemple, et la charge q reçue par le microfarad demeurera invariable pour toute durée de fermeture du circuit supérieure à θ.

Supposons en second lieu que A est une auge électrolytique non polarisée, de capacité électrostatique pratiquement nulle, mais dont la résistance r est énorme.

L'équilibre électrique ne sera atteint qu'au bout d'un temps extrêmement long, et le microfarad recevra dans un temps t une charge égale à celle qui est débitée à travers l'auge. La résistance de la

---

[1] *Étude des propriétés diélectriques du mica* (*Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XXIV, p. 394).

Digitized by Google

pile et des conducteurs métalliques étant toujours supposée négligeable, les électrodes sont portées dans un temps θ très court à la différence de potentiel E caractéristique de la pile : dès lors l'auge est traversée par un courant dont l'intensité initiale $\frac{E}{r}$ ne décroît ensuite que très lentement en vertu de la polarisation. L'auge débite donc et le microfarad reçoit, dans le temps t, une charge q_2 pratiquement égale à $\frac{E}{r}t$

$$q_2 = \frac{E}{r}t. \tag{2}$$

Tous ces résultats ont été vérifiés directement.

Supposons enfin que l'on place en A un condensateur parfait de capacité C, mais qui porte en dérivation l'auge électrolytique dont nous venons de parler. La charge Q reçue dans le temps t par le microfarad sera la somme des charges q_1 et q_2 reçue par le condensateur et débitée par l'auge, et il en sera évidemment de même si le condensateur et l'auge sont superposés, c'est-à-dire dans le cas pratique d'un condensateur imparfait dont le diélectrique possède une faible conductibilité électrolytique. On aura donc

$$Q = q_1 + q_2 = CE + \frac{E}{r}t = \frac{E}{r}(Cr + t). \tag{3}$$

3. Voici maintenant la manière de procéder aux expériences définitives.

Après avoir constitué un condensateur A à lame d'air et déterminé la charge q qu'il reçoit d'une pile de force électromotrice E, on étudie la variation avec le temps de la charge Q emmagasinée par le microfarad, quand on a remplacé l'air du condensateur A par la substance à la fois diélectrique et conductrice qu'il s'agit d'étudier. Soient c la capacité du condensateur à lame d'air, C la capacité initiale du condensateur à lame diélectrique et conductrice, k la constante diélectrique. On a, par des définitions,

$$q = cE = \frac{C}{k}E. \tag{4}$$

Nous avons vu qu'on a, d'autre part,

$$Q = \frac{E}{r}(Cr + t). \tag{3}$$

Digitized by Google

Or, entre la capacité C d'un condensateur à lame diélectrique de forme quelconque et la résistance r d'une masse conductrice de même forme et de dimensions identiques, subsiste la relation (5),

$$(5) \qquad Cr = \frac{k\rho}{4\pi}.$$

Dans cette formule, ρ représente la résistance spécifique de la substance conductrice, *cette dernière étant évaluée dans le système d'unités électrostatiques*. C et r doivent être exprimés dans un même système qui peut être indifféremment le système électrostatique ou le système électromagnétique.

En substituant à C sa valeur tirée de (5) dans les formules (4) et (3), elles deviennent

$$(6) \qquad q = \frac{E}{r}\frac{\rho}{4\pi},$$

$$(7) \qquad Q = \frac{E}{r}\left(\frac{k\rho}{4\pi} + t\right),$$

d'où

$$(8) \qquad \frac{Q}{q} = k + \frac{4\pi}{\rho}t.$$

Le second membre de (8) est indépendant de l'unité de charge adoptée, de la force électromotrice de la pile, de la forme et des dimensions du condensateur. Toutes ces données peuvent être choisies par d'autres considérations, et les mesures de Q et de q détermineront à la fois k et ρ, la constante diélectrique et la résistance spécifique de la matière étudiée.

4. Pour que les expériences soient possibles, c'est-à-dire pour qu'elles fournissent *à la fois* des valeurs de k et de ρ suffisamment exactes, il est nécessaire que les deux termes du second membre de (8) soient du même ordre de grandeur. Les valeurs que l'on peut donner à t, limitées par la qualité de l'interrupteur, sont susceptibles de varier, dans mes expériences, de $0^s,0001$ à $0^s,03$. Le produit $\frac{k\rho}{4\pi} = T$, qui a les dimensions d'un temps, doit donc être compris entre des limites du même ordre, ce qui restreint singulièrement le choix des substances à étudier. Si T est trop petit, l'effet de la conductibilité domine au point de rendre la dé-

Digitized by Google

termination de k illusoire; s'il est trop grand, c'est ρ qui sera mal déterminé.

Pratiquement j'ai reconnu que ma méthode ne peut être employée à la mesure d'une résistance spécifique que si la valeur de cette résistance (ρ) *évaluée dans le système électromagnétique* est inférieure à 10^{13} ohms; elle ne s'applique à la mesure de k que pour des résistances spécifiques supérieures à 10^{9} ohms. La première limite est sans importance, puisque des procédés bien connus permettent de mesurer des valeurs de (ρ) très supérieures. Il n'en est pas de même de la seconde : la méthode que je propose me paraît en effet être la première qui permette de constater, *avec une certitude qui ne laisse aucune place au doute,* l'existence du pouvoir diélectrique chez les corps doués d'une conductibilité électrolytique sensible.

On remarquera que la plus forte résistance spécifique trouvée par M. Foussereau pour l'eau distillée (1) est seulement de 7.10^{5} ohms, et pour l'alcool absolu (2) de 7.10^{6} ohms. Pour atteindre directement cette dernière substance, il faudrait rendre mon interrupteur environ cent fois plus exact, et mille fois plus exact pour l'eau distillée. *Il faudrait aller encore un million de fois au delà* pour s'attaquer aux sels fondus ou aux dissolutions salines concentrées.

I. — Corps liquides.

5. En dehors des isolateurs proprement dits tels que la benzine, l'essence de térébenthine et le sulfure de carbone purs, on peut s'adresser à des échantillons plus ou moins impurs de ces substances ou à des mélanges de ces mêmes corps avec quelques centièmes d'alcool ou d'éther.

Voici d'abord les résultats relatifs aux liquides isolants (3) :

---

(1) Foussereau, Thèse de doctorat, *Annales de Chimie et de Physique,* 6e série, t. V, p. 340; 1885.

(2) Foussereau, *Séances de la Société de Physique,* année 1885, p. 180.

(3) Tous les produits purs employés dans ce travail ont été fournis par MM. Poulenc.

Digitized by Google

Substance.	k.	(ρ) en ohms.
Sulfure de carbone.....	2,715	$> 1,5.10^{13}$
Essence de térébenthine.....	2,314	$= 1,75.10^{12}$
Benzine n° 1 à 20°.....	2,21	$1,56.10^{12}$
Benzine n° 1 à 70°.....	2,22	$7,90.10^{11}$
Benzine n° 2.....	2,315	$2,86.10^{12}$
Benzine ordinaire.....	2,395	$1,09.10^{12}$

On remarquera que, pour divers échantillons d'une même substance, la constante diélectrique varie peu, tandis que la résistance spécifique est susceptible de varier dans des limites assez larges, conformément à ce qu'on savait déjà sur la conductibilité des substances isolantes. Quand on élève la température, la constante diélectrique demeure sensiblement invariable, tandis que la résistance spécifique diminue rapidement.

6. L'addition d'alcool à la benzine élève sensiblement la constante diélectrique et diminue la résistance spécifique dans un rapport considérable. Avec un mélange de 19 parties en poids de la benzine n° 2 du Tableau ci-dessus, et de 1 partie d'alcool, on a trouvé

$$k = 2,635, \qquad (\rho) = 2,133.10^{10} \text{ ohms}.$$

Si l'on imagine que la benzine et l'alcool conservent, dans ce mélange, leur pouvoir diélectrique et leur conductibilité propres, on pourra déduire de ces mesures, par extrapolation, la constante diélectrique x et la résistance spécifique y de l'alcool absolu employé. Occupons-nous d'abord de la résistance spécifique. En admettant, pour densités de la benzine et de l'alcool à la température de l'expérience, respectivement 0,878 et 0,792, la composition en volume du mélange est :

Alcool.....	0,0551
Benzine.....	0,9449

et l'on aurait, pour déterminer y,

$$0,0551\,\frac{1}{y} + 0,9449\,\frac{1}{2,86.10^{12}} = \frac{1}{2,133.10^{10}},$$

d'où

$$y = 1,18.10^{8} \text{ ohms}.$$

Le même calcul, appliqué à un mélange de 5 pour 100 en poids

Digitized by Google

d'alcool et 95 de sulfure de carbone, a donné seulement

$$y = 1,45.10^9 \text{ ohms.}$$

Les nombres ainsi trouvés sont respectivement dix-sept fois et deux fois environ supérieurs à la plus grande résistance spécifique mesurée par M. Foussereau pour l'alcool absolu, et je me suis assuré, au contraire, que mon alcool était meilleur conducteur que celui de M. Foussereau.

D'ailleurs, si l'on étudie successivement divers mélanges formés aux dépens de la même benzine et du même alcool, on trouve que la conductibilité croît en proportion beaucoup plus rapide que l'alcool ajouté. Ainsi, pour trois mélanges contenant respectivement 2, 4,5 et 7 pour 100 d'alcool en poids, les conductibilités mesurées se sont trouvées entre elles comme les nombres 1, 13,7 et 94.

Pour interpréter ce résultat, on doit admettre que l'alcool doit la plus grande part de sa conductibilité à quelque substance étrangère peu ou point soluble dans la benzine pure, et qui ne peut subsister, en totalité, dans les mélanges de benzine ou de sulfure de carbone trop pauvres en alcool. La résistance spécifique appartenant en propre à l'alcool se trouverait du même ordre que celle de la benzine ou des autres bons isolateurs.

7. En ce qui concerne le pouvoir diélectrique, sans donner précisément un nombre constant, des calculs de ce genre fournissent au moins des résultats d'un ordre de grandeur invariable. Pour le mélange de 5 pour 100 en poids d'alcool et de 95 de benzine étudié ci-dessus, on a l'équation

$$0,0551x + 0,9449.2,315 = 2,635,$$
$$x = 8,13.$$

Trois autres mélanges contenant respectivement 2, 4,5 et 7 pour 100 d'alcool dans un autre échantillon de benzine ont donné respectivement :

Proportion d'alcool en poids.	x.
0,02	6,87
0,045	10,95
0,07	8,56

Digitized by Google

Enfin un mélange de 5 pour 100 d'alcool en poids et de 95 d'essence de térébenthine a donné

$$x = 5,15.$$

Ces divers nombres présentent entre eux des divergences assez considérables en valeur absolue, quoique médiocres, si l'on a égard à l'importance de l'extrapolation et aux variations énormes de la résistance spécifique. Leur moyenne

$$x = 7,93$$

donne au moins un renseignement approximatif relativement à la constante diélectrique de l'alcool pur.

Rappelons à cet égard que, dans un récent Mémoire, M. Rosa (1) donne pour la constante diélectrique de l'alcool le nombre 25,7 et que MM. Cohn et Arons (2) avaient trouvé, pour la même quantité, la valeur 26,8. Des nombres aussi élevés paraissent incompatibles avec les résultats de l'ensemble de mes mesures.

8. Je n'ai fait qu'une seule mesure sur un mélange de 0,05 d'éther et 0,95 d'essence de térébenthine; elle donne, pour la constante diélectrique de l'éther,

$$x = 4,76.$$

M. Quincke (3), qui a mesuré directement par diverses méthodes la constante diélectrique d'éther bien privé d'eau, a trouvé des nombres compris entre 4,4 et 4,8.

9. En résumé, *les expériences qui précèdent montrent nettement les effets de la superposition du pouvoir diélectrique et de la conductibilité électrolytique*. Elles ne prouvent cependant pas que les deux propriétés sont afférentes aux mêmes molécules, puisqu'on est au contraire bien certain que, dans les mélanges étudiés, la conductibilité est attribuable, au moins en grande partie, à des impuretés qu'ils renferment en quantités très minimes.

---

(1) Rosa, *Phil. Mag.*, 5e série, t. XXXI, p. 188; 1891.
(2) Cohn et Arons, *Wied. Ann.*, t. XXXIII, p. 13 et 31; 1888.
(3) Quincke, *Wied. Ann.*, t. XIX, p. 725; 1883.

Digitized by Google

Cette objection mérite d'être discutée de près. Les expériences suivantes nous aideront peut-être à la résoudre.

II. — Glace et sels solides.

10. Parmi les corps solides conducteurs, j'ai étudié la glace et les azotates alcalins.

D'après M. Foussereau (¹), la résistance spécifique de la glace d'eau distillée est déjà supérieure à 10^9 ohms à la température de — 1°. Quant aux azotates de potasse et de soude et à leurs mélanges, leur résistance à la température ordinaire est d'autant plus grande, elle reste supérieure à 10^9 ohms jusqu'à une température d'autant plus haute que leur point de fusion est lui-même plus élevé. Ainsi, pour l'azotate de soude fondant à 298°, cette résistance reste supérieure à 10^9 jusqu'à 167° environ, tandis que, pour le mélange à équivalents égaux d'azotates de potasse et de soude fondant à 219°, elle tombe au-dessous de cette limite, peu au-dessus de 50°. La méthode que j'ai décrite est applicable à ces corps entre les mêmes limites de température.

11. Les expériences sur les corps solides sont beaucoup plus délicates que les précédentes, relatives aux mélanges liquides. Outre la difficulté d'obtenir une couche mince et homogène remplissant exactement l'intervalle des plateaux du condensateur sans le déformer, on doit toujours redouter l'effet de la conductibilité de la couche superficielle qui, pour peu qu'elle soit notable, faussera complètement les résultats de l'expérience. On peut assimiler cette couche superficielle et la portion très étroite des bords du condensateur qu'elle intéresse à une auge électrolytique supplémentaire dont les dimensions et la conductibilité n'ont avec celles de l'auge principale aucune relation connue. Supposons réalisé le cas limite où, la capacité de polarisation de cette auge supplémentaire étant très faible et sa conductibilité relativement grande, la polarisation pourrait atteindre en $0^s,0001$ une fraction notable de sa valeur. Soit a la quantité d'électricité correspondante. Le

(¹) Foussereau, Thèse de doctorat, *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. V, p. 350, 365 et suiv.; 1885.

Digitized by Google

débit propre de l'auge supplémentaire pourra être représenté par

$$Q' = a + bt + ct^2 + \ldots$$

et la quantité totale d'électricité recueillie par le microfarad serait

$$Q + Q' = \frac{E}{r}(Cr + t) + a + bt + ct^2 + \ldots.$$

Sa limite apparente pour $t = 0$ est non plus CE, mais $CE + a$.

Si l'on songe que, dans ces expériences, C ne dépasse jamais quelques millièmes de microfarad et que les capacités de polarisation peuvent être de l'ordre de $\frac{1}{10}$ de microfarad par millimètre carré, on jugera de l'importance des erreurs que l'on est ainsi exposé à commettre. La plus petite valeur trouvée pour C, et par conséquent pour k, sera toujours la plus probable.

12. *Glace.* — Un intérêt spécial s'attachait à l'étude de ce corps. D'après MM. Cohn et Arons (1), Tereschin (2), Cohn (3), l'eau distillée possède une constante diélectrique quarante fois supérieure au carré de son indice de réfraction moyen. Plus récemment encore, M. Rosa (4) a trouvé

$$k = 75,7.$$

Il était curieux de savoir si ma méthode, appliquée à la glace, fournirait un nombre aussi considérable.

J'ai fait usage d'un condensateur en laiton dont les plaques, épaisses de 2^{mm}, ont environ 1^{dmq} de surface; elles sont séparées par des cales de mica et serrées par des vis isolées et placées à l'encontre des cales. Ce condensateur est soutenu horizontalement dans une cuvette de porcelaine A contenant de l'eau distillée récemment bouillie. A l'aide d'une lame de mica étroite et longue que l'on glisse entre les plateaux, on chasse soigneusement les bulles; puis la cuvette A est placée sur de petites cales dans une

(1) Cohn et Arons, *Wied. Ann.*, t. XXXIII, p. 13; 1886.
(2) Tereschin, *ibid.*, t. XXXVI, p. 792; 1889.
(3) Cohn, *ibid.*, t. XXXVII, p. 42; 1889.
(4) Rosa, *Phil. Mag.*, 5e série, t. XXXI, p. 188; 1891.

Digitized by Google

cuvette B plus grande où l'on introduit une quantité de chlorure de méthyle suffisante pour baigner le fond et un peu les bords de la cuvette A. La congélation de l'eau se produit lentement de bas en haut et le condensateur se trouve pris dans un bloc de glace dont la température s'abaisse finalement aux environs de — 23°. La pile P de la *fig.* 1 est remplacée par une dérivation connue prise sur le circuit d'un élément Daniell.

L'une des meilleures expériences a donné

$$k = 78,8, \qquad (\rho) = 4,41.10^9.$$

La mesure, parfaitement normale et régulière, ne semble pas comporter de cause d'erreur capable d'altérer k du dixième de sa valeur. Celle-ci est presque identique aux valeurs de k proposées pour l'eau liquide par les expérimentateurs cités plus haut. Cette coïncidence, peut-être un peu fortuite, paraîtra cependant bien remarquable, eu égard à l'accroissement énorme de résistance qui accompagne la congélation.

En ce qui concerne la résistance spécifique, il faut bien spécifier qu'on ne mesure ici qu'une valeur *apparente* dénuée de signification précise. D'une part, rien ne garantit la parfaite uniformité de température de la glace; mais il faut surtout noter, d'autre part, que la glace se fend irrégulièrement en tous sens pendant le refroidissement, tout au moins à l'extérieur du condensateur; il est donc peu probable qu'elle demeure parfaitement continue entre les plateaux. Ces causes ne peuvent altérer notablement la valeur de k; mais la dernière peut suffire à fausser sensiblement la valeur de ρ.

13. Si à partir de — 23°, on laisse la glace se réchauffer lentement, sa résistance spécifique *apparente* diminue beaucoup; dans une de mes expériences, j'ai pu continuer des mesures dans des limites où cette résistance est devenue quinze fois plus faible, sans que la constante diélectrique ait paru varier d'une manière sensible.

14. Des traces de sels en dissolution dans l'eau diminuent aussi beaucoup la résistance de la glace. Une expérience tentée avec de l'eau de Seine filtrée et bouillie a donné une valeur de (ρ) voisine de 5.10^7 ohms. Grâce à la grandeur de k, les mesures demeurent

Digitized by Google

possibles, quoique peu précises : j'ai trouvé en moyenne $k = 84$; ce nombre ne diffère de celui qui convient à la glace pure que de $\frac{1}{17}$, c'est-à-dire d'une quantité bien inférieure à la limite des erreurs que comporte la dernière mesure. M. Rosa avait déjà trouvé que des traces de sels en dissolution n'altèrent pas la constante diélectrique de l'eau liquide.

15. *Sels solides.* — J'attache une importance particulière aux mesures réalisées avec des sels solides. La conductibilité des liquides précédemment étudiés, celle de la glace elle-même, pouvaient être attribuées, au moins en partie, à des impuretés, c'est-à-dire à des molécules d'une autre nature, très conductrices, disséminées en petit nombre dans la masse principale isolante. Avec les sels solides rien de semblable à craindre : électrolytes parfaits quand ils sont fondus, ces sels conservent à l'état solide une conductibilité, qui, très grande encore au voisinage du point de fusion, diminue ensuite rapidement à mesure que la température s'abaisse; s'ils renferment quelques traces d'impuretés, *la conductibilité spécifique de celles-ci est du même ordre;* leur influence est donc négligeable; il suffira d'éviter la formation d'une couche superficielle hygrométrique.

16. J'ai fait usage du condensateur à disques de fer employé pour les mélanges liquides. Ce condensateur est immergé dans le sel en pleine fusion; pendant le refroidissement on promène entre les plateaux une lame de mica, que l'on manœuvre à l'aide de pinces et de tiges de fer, de manière à chasser le plus possible les bulles, parfois assez adhérentes [1].

Cela fait, je retire le condensateur du sel fondu au moment où la solidification va commencer, et je le laisse refroidir hors du bain en le maintenant bien horizontal; le liquide retenu par capillarité forme entre les plateaux une couche adhérente et régulière. Il ne reste plus qu'à plonger l'appareil encore chaud dans un bain de

---

[1] Bien entendu, il faut s'assurer, en démontant le condensateur après chaque expérience, que cette condition a été parfaitement réalisée; ou, s'il est resté quelques petites bulles, en évaluer le mieux possible la surface, qui ne doit pas dépasser une petite fraction de la surface utile.

Digitized by Google

paraffine fondue qui l'enveloppera d'une couche bien isolante et dénuée de pouvoir hygrométrique.

17. L'azotate de potasse et l'azotate de soude purs, fondant respectivement à 327° et à 298°, sont d'un maniement relativement difficile pour ces expériences; ils offrent l'inconvénient de cristalliser en grosses masses par refroidissement et présentent alors des fissures visibles déjà nombreuses; la paraffine fondue pénètre en tous sens dans la masse, dont la structure, plus finement cloisonnée qu'on ne l'aurait supposé d'abord, apparaît très nettement quand on essaye ensuite de dissoudre le sel dans l'eau.

Le mélange à équivalents égaux d'azotates de potasse et de soude, beaucoup plus fusible (point de fusion 219°) fournit au contraire une masse d'apparence porcelanique et continue, dont la structure très finement cristalline, n'offre pas de fissures perceptibles à l'œil nu. C'est donc à ce mélange que j'ai eu principalement recours pour les expériences définitives.

Quand un condensateur préparé avec ce mélange et bien paraffiné est abandonné à lui-même à la température ordinaire, la résistance croît peu à peu, sans doute en vertu des progrès de la cristallisation du mélange salin et des fissures imperceptibles qui l'accompagnent. Une mesure faite sur un tel condensateur le lendemain de sa construction a donné

$$k = 3,76 \qquad (\rho) = 6,05.10^{10} \text{ ohms.}$$

Deux nouvelles mesures, réalisées le surlendemain et le jour suivant, ont donné les couples de valeurs

$$k = 3,69 \qquad (\rho) = 1,64.10^{11} \text{ ohms,}$$
$$k = 4,01 \qquad (\rho) = 3,6.10^{11} \text{ ohms.}$$

La dernière valeur de k, la moins influencée par la conductibilité, doit être la plus exacte; nous adopterons en nombre rond la valeur

$$k = 4,$$

qui paraît aussi convenir à l'azotate de potasse et à l'azotate de soude purs.

En ce qui concerne la résistance spécifique, l'état plus ou moins

Digitized by Google

avancé de la cristallisation, la moindre fissure résultant du retrait peuvent en modifier la valeur apparente; il ne faut donc attribuer qu'une importance secondaire aux nombres qui la représentent.

18. Il était particulièrement intéressant d'étudier l'effet de la température. Le même condensateur a été porté dans une étuve de Wiessnegg munie d'un régulateur, et deux bonnes séries de mesures ont pu être exécutées l'une à 52°, l'autre à 58°. Pendant chacune de ces mesures la température a été maintenue constante à moins de 1° près.

On a trouvé ainsi :

Température.	k.	(ρ) en ohms.
15,4	4,01	$3,6 \,.\, 10^{11}$
52	4,72	$4,05 \,.\, 10^{9}$
58	4,71	$2,61 \,.\, 10^{9}$

La résistance spécifique *apparente* décroît avec une extrême rapidité, conformément aux résultats déjà cités des expériences de M. Foussereau; de 15° à 58°, elle a varié dans le rapport de 138 à 1.

La constante diélectrique varie peu avec la température; l'accroissement de moins de $\frac{1}{6}$ indiqué par les expériences ci-dessus peut même se trouver exagéré.

Une expérience faite sur l'azotate de soude, spécialement en vue d'étudier les variations de k et de (ρ) avec la température, a fourni les résultats suivants qui, malheureusement, ne peuvent être donnés qu'en valeur relative, par suite de la présence, dans le condensateur, de bulles d'une importance notable.

Température.	$\frac{k_t}{k_{15}}$.	$\frac{\rho_t}{\rho_{15}}$.
15°	1	1
100	1,06	0,089
129	1,16	0,032
144	1,13	0,020
170	»	0,007

La conductibilité de l'azotate de soude à 144° ne peut être attribuée à une couche superficielle hygrométrique. *Nous nous*

Digitized by Google

trouvons donc en présence de corps chez lesquels le pouvoir diélectrique et la conductibilité, dont nous venons de constater la superposition, appartiennent bien aux mêmes molécules; et le doute exprimé ci-dessus (p. 251) à propos des liquides semble définitivement écarté.

19. Nous admettrons donc comme vraisemblable que, si les expériences pouvaient être étendues aux électrolytes ordinaires, elles fourniraient des résultats analogues et donneraient des valeurs finies de k. *La distinction entre les diélectriques et les électrolytes résiderait donc uniquement dans l'ordre de grandeur de leur conductibilité.*

20. Si l'on veut se former une image de la manière dont l'électricité agit dans ces expériences, on peut recourir à l'hypothèse de Grotthuss. Quand deux plaques métalliques, plongées au sein de la masse polarisable et électrolytique, sont portées à une certaine différence de potentiel, les molécules de la masse reçoivent une orientation déterminée, ce qui n'exige qu'un temps très court et constitue la polarisation diélectrique; cette polarisation a pour effet l'écoulement sur les électrodes de la charge diélectrique CE. Ensuite, les chaînes électrolytiques se rompent, si toutefois elles en sont susceptibles, et le transport aux électrodes des ions libres est accompagné de l'écoulement, à travers l'auge, d'une quantité d'électricité $\frac{E}{r}t$.

SÉANCE DU 17 JUIN 1892.

PRÉSIDENCE DE M. VIOLLE.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 juin est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. CHWOLSON (Oreste), Professeur de Physique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

DELAUNAY (Nicolas), Professeur à l'École impériale de Droit de Saint-Pétersbourg (Russie).

Digitized by Google

GEORGUIEWSKI (Nicolas), Adjoint à l'École des Torpilleurs marins, à Cronstadt (Russie).

HIRSCH, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Paris.

LINDÉ, Ingénieur électricien, à Dolginowo, Gouvernement de Vilno (Russie).

LUBOSLAWSKI (Gennadi), Préparateur au Laboratoire de Physique, à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

POPOFF (Alexandre), Professeur à l'École des Torpilleurs marins, à Cronstadt (Russie).

ROGOWSKY (Eugène), Professeur de Gymnase, à Saint-Pétersbourg (Russie).

SADOWSKY (Alexandre), Professeur de Physique à l'Académie de Marine et à l'Ecole des Mines de Saint-Pétersbourg (Russie).

SCOBELTZINE (Waldemar), Préparateur au Laboratoire de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

M. le PRÉSIDENT annonce à la Société la perte douloureuse qu'elle vient de faire en la personne de M. *E. Pauchon*, professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Caen.

Sur le rayonnement aux températures élevées. — M. VIOLLE rappelle les travaux dont les lois du rayonnement ont été l'objet. S'attachant plus particulièrement au mode suivant lequel l'intensité d'une radiation simple varie avec la température, il retrace rapidement ses anciennes recherches et reproduit la formule qui les résume. Prolongée au delà des températures pour lesquelles elle a été établie, cette formule conduit à un maximum d'intensité qui pour les rayons rouges, par exemple, se manifesterait vers 4000°. Qu'il s'agisse d'un maximum réel ou d'une valeur asymptotique, la radiation cesserait donc de croître au delà d'une certaine limite. La formule qu'a récemment donnée M. Le Chatelier indiquerait au contraire un accroissement indéfini de la radiation avec la température. Ses expériences, d'accord avec les précédentes jusqu'à 1500°, lui ont en effet accusé à 1775° une intensité beaucoup plus grande. Mais, pour isoler la radiation sur laquelle il opérait, M. Le Chatelier s'est servi d'un verre rouge; et l'on peut craindre qu'aux températures élevées ce verre n'ait laissé passer en quantité notable des radiations plus réfrangibles. D'autre part, si le four à fondre le platine employé par M. Violle a pu être critiqué comme enceinte à température constante, bien que les expériences sur le palladium aient prouvé qu'à 1500° ce four donnait, avec les précautions convenables, des résultats exacts, la flamme du chalumeau qui, dans les expériences de M. Le Chatelier, environne le corps rayonnant n'est pas sans troubler le phénomène. M. Violle ne pense donc pas devoir modifier ses conclusions. A l'appui de ces conclusions, il cite les résultats d'expériences qu'il avait faites autrefois et qui établissent que l'intensité de la radiation infrarouge, symétrique du violet extrême par rapport à la raie A, n'éprouve que des accroissements de plus en plus faibles pour des élévations d'un même nombre de degrés aux températures élevées. On en conclura, sans aucune extrapolation, que

Digitized by Google

l'intensité d'une radiation ne croît plus très vite au delà d'une certaine limite.

M. Le Chatelier insiste sur l'importance que présente la détermination précise du rayonnement à 1775°, car cette température est la plus élevée qui ait été mesurée; les déterminations qui s'y rapportent ont une influence majeure sur toutes les tentatives d'extrapolation.

Tout en reconnaissant l'exactitude générale des critiques formulées par M. Violle contre l'emploi des verres rouges, M. Le Chatelier ne pense pas que cette influence ait été sensible dans ses expériences, parce que les verres absorbants ont précisément été combinés pour annuler cette influence du verre rouge. Il croit avoir atteint le résultat cherché, mais ne pourrait en donner la preuve scientifique.

L'exactitude des critiques formulées contre le mode opératoire de M. Violle ne saurait pas davantage, au point de vue général, être contestée. Que dans ces expériences le rayonnement du platine n'ait pas été affecté par le voisinage de parties plus froides de l'enceinte, M. Violle peut avoir des raisons de le croire, mais il ne pourrait non plus en fournir la preuve scientifique.

Dans ces conditions, en présence de la divergence des résultats obtenus, on ne peut que désirer que ces mesures soient bientôt reprises, en évitant toutes les causes d'incertitude signalées.

Adiabatiques d'un système de liquide et de vapeur. — M. Raveau s'est proposé d'étudier les adiabatiques d'un système de liquide et de vapeur.

L'application du théorème de M. Maurice Lévy sur la valeur de l'aire limitée par deux isothermes et deux adiabatiques permet d'établir les résultats suivants :

1° *A l'intérieur de la courbe de saturation, le faisceau des adiabatiques va en s'épanouissant à mesure que la température s'abaisse,* la distance de deux adiabatiques, comptée sur l'isotherme, variant en raison inverse de $\frac{dp}{dt}$.

2° *A la sortie de la courbe de saturation, les adiabatiques se réfractent;* cette réfraction a toujours pour effet de rendre la direction de l'adiabatique plus voisine de celle de l'axe des p, à l'extérieur de la courbe de saturation. On est ainsi amené à imaginer, pour les adiabatiques qui passent entre les deux points d'inversion, une forme analogue à celle des isothermes théoriques de J. Thomson et van der Vaals.

Au voisinage immédiat du point critique, on trouve que :

3° Les chaleurs spécifiques du liquide saturé et de la vapeur saturée deviennent infinies et de signe contraire (théorème déjà démontré par M. Duhem); leur rapport tend vers -1. On en déduit que l'adiabatique qui passe par le point critique est tangente en ce point à la courbe le

Digitized by Google

long de laquelle les masses de liquide et de vapeur sont égales. Au voisinage du point critique, l'adiabatique est donc orientée comme d'ordinaire, le coefficient angulaire de sa tangente est *négatif;* ce point est en contradiction avec un des résultats énoncés par M. Duhem.

Si l'on a déterminé les densités de la vapeur et du liquide saturés jusqu'au voisinage du point critique, on pourra calculer le rapport des volumes du liquide et de la vapeur qui se séparent par une très petite détente. On pourrait utiliser cette remarque à la détermination du volume critique.

4° En ce qui concerne la détente adiabatique, on trouve que deux courbes, l'une allant du point critique au second point d'inversion, l'autre partant du second point d'inversion, partagent l'aire limitée par la courbe de saturation en trois régions; dans l'une d'elles, située à gauche, toute détente est accompagnée d'une volatilisation : c'est le contraire qui se produit dans les deux autres. Pour tout point des courbes de séparation, une détente infiniment petite conserve les proportions de liquide et de vapeur. Si l'on pouvait déterminer un de ces points, on connaîtrait la direction de la tangente à l'adiabatique en ce point et tout le long de la partie rectiligne de l'isotherme correspondante.

M. P. Curie entretient la Société des recherches faites par M. J. Curie *sur la conductibilité des diélectriques solides.* MM. Warburg et Tegetmeier se sont aussi occupés de cette question, et il est intéressant de comparer entre eux les résultats de ces travaux. M. J. Curie établit que l'on doit séparer complètement ce phénomène de la charge brusque d'un diélectrique (correspondant au pouvoir inducteur spécifique de la substance) et celui de la charge lente (désignée sous le nom de *charge résiduelle*). Il y a au contraire continuité parfaite entre le courant d'intensité décroissante qui correspond à la charge résiduelle et le courant constant de conductibilité de la substance. Ces courants résultent vraisemblablement de la présence d'une matière étrangère dans le diélectrique. MM. Warburg et Tegetmeier ont montré que les courants qui traversent un diélectrique sont des courants d'électrolyse obéissant aux lois de Faraday. Il semble dès lors que l'on assiste à la genèse de l'électrolyse. Lorsqu'un diélectrique est pur, il donne seulement des charges brusques. Lorsqu'un diélectrique contient une petite quantité d'une matière électrolysable, il se polarise probablement dans toute sa masse sous l'action du courant. Cette polarisation en volume peut au besoin atteindre plusieurs milliers de volts et le courant se trouve arrêté. Si la matière électrolysable est en quantité suffisante dans le diélectrique, on a finalement un courant continu. M. J. Curie se servait dans ses mesures d'un électromètre fonctionnant comme électroscope et d'un quartz piézo-électrique.

Ce dernier instrument est présenté à la Société; il donne un dégagement électrique sensible pour un poids de quelques décigrammes dans son plateau, et peut supporter une charge de 3^{kg}; le dégagement électrique est

Digitized by Google

proportionnel à la charge. Les lames diélectriques à étudier sont argentées sur les deux faces. Sur une des faces, on sépare, à l'aide d'un simple trait dans l'argenture, une portion centrale seule utilisée dans les mesures et un anneau de garde qui rend le champ uniforme et met à l'abri de toute erreur provenant d'une conductibilité superficielle.

On mesure des charges électriques ou des courants en provoquant, à l'aide de poids placés dans le plateau du quartz piézo-électrique, des charges ou des courants connus égaux et de signes contraires. La méthode permet de mesurer des résistances spécifiques s'élevant jusqu'à 10^{19} ohms-centimètres.

M. J. Curie a étudié les pouvoirs diélectriques et la conductibilité à diverses températures pour le soufre, le sel gemme, la fluorine, le quartz, le spath, le mica, la topaze, le gypse, l'alun, la barytine, l'ébonite, le mica, le verre et le cristal.

Les courants d'intensité variable qui traversent les corps diélectriques obéissent à une loi simple désignée sous le nom de *loi de superposition*. Cette loi indique une indépendance complète dans les effets produits par diverses variations de force électromotrice. La conductibilité apparente c, à force électromotrice constante, est généralement bien représentée en fonction du temps par une loi hyperbolique de la forme $c = at^n$, a et n étant des constantes.....

Le quartz donne des résultats particulièrement intéressants. Tandis que le pouvoir inducteur est sensiblement le même et égal à 4,50 dans la direction de l'axe ou normalement à l'axe, la conductibilité est de 1000 à 10000 fois plus forte dans la première direction que dans la seconde. Le pouvoir inducteur est le même pour tous les échantillons, tandis que la conductibilité varie dans le rapport de 1 à 12. Le pouvoir inducteur ne varie pas avec la température. La conductibilité augmente quand la température s'élève dans des proportions énormes et tend vers une conductibilité constante en fonction du temps.

On trouve pour les autres diélectriques des résultats analogues.

M. J. Curie a trouvé 8,0 pour pouvoir inducteur du mica après une demi-seconde de charge; pour des charges très rapides, il lui sembla que le pouvoir inducteur diminuait. Mais son appareil se prêtait mal à ce genre d'expérience. M. Bouty, dans ses expériences récentes, a montré que le pouvoir inducteur était toujours égal à 8,0 même pour des temps excessivement courts. Sauf pour ce point particulier, les recherches de MM. Bouty et J. Curie sont en parfait accord et conduisent aux mêmes conclusions générales.

M. Bouty observe qu'en effet ses travaux récents sur les diélectriques apportent plusieurs confirmations intéressantes aux travaux de M. J. Curie, et il fait l'éloge de ces travaux.

A cette occasion, il signale une différence entre les électrolytes liquides et solides au point de vue de la grandeur et de la marche des résidus

Digitized by Google

qu'ils fournissent. Pour une valeur identique de la résistance spécifique, le résidu d'un condensateur à électrolyte solide demeure proportionnel à la force électromotrice de charge dans un intervalle beaucoup plus long. Cette différence doit être sans doute attribuée à l'absence de la diffusion, ou plus généralement à la différence de nature des mouvements moléculaires caractéristiques de l'état solide et de l'état liquide.

Sur le rayonnement des corps incandescents;

par M. J. Violle.

Lorsque la température d'un corps solide s'élève progressivement, la quantité d'énergie rayonnée par le corps augmente, et en même temps la nature du flux se modifie, des radiations à plus courte période s'ajoutant à celles qui existent déjà.

Suivant Draper, tous les corps (non fluorescents) deviennent lumineux à une température voisine de 500°. Des expériences récentes de M. Weber lui ont montré que la température initiale d'émission lumineuse est notablement plus basse et varie d'un corps à l'autre, étant de 417° pour l'or, de 390° pour le platine, de 377° pour le fer. J'avais moi-même observé autrefois qu'une plaque de tôle devient lumineuse très peu au-dessus du point de fusion du plomb, soit vers 350°. Ces déterminations sont évidemment influencées par la sensibilité de l'œil, qui varie d'un observateur à l'autre, et qui, chez une même personne, présente un maximum pour une certaine radiation (voisine du jaune), la perception de la lumière devançant d'ailleurs la distinction de la couleur. Quant aux divergences constatées d'un corps à l'autre, elles peuvent s'expliquer par les différences de pouvoir émissif.

A partir du moment où le corps devient lumineux, la température croissant, la lumière émise augmente d'intensité et varie de teinte, du rouge sombre au blanc vif tournant au bleu. Le phénomène est donc très complexe.

J'ai cherché, il y a déjà longtemps ([1]), à déterminer la loi suivant laquelle varie l'intensité d'une radiation simple avec la tem-

---

([1]) Violle, *Comptes rendus des séances de l'Acad. des Sciences*, t. LXXXVIII, p. 171; 1879. et t. XCII, p. 866 et 1204; 1881.

Digitized by Google

pérature, en mesurant, à l'aide d'un spectrophotomètre, pour diverses longueurs d'onde, l'intensité de la radiation émise à différentes températures par un bloc de platine incandescent, placé dans un champ calorifique constant et rayonnant librement vers le photomètre.

M. Le Chatelier (¹) a fait récemment, aux mêmes températures, des expériences analogues dans des conditions différentes : le corps en expérience, chauffé directement dans la flamme d'un chalumeau, envoie à travers cette flamme ses rayons sur un photomètre muni de verres spéciaux, monochromatiques. Le Tableau suivant, où l'intensité de la radiation à 1000° est, dans tous les cas, prise pour unité,

	Violle.		Le Chatelier.	
	$\lambda = 656.$	$\lambda = 589,2.$	Verre rouge.	
	Platine.		Oxyde magnétique.	Platine.
775°	0,045 (²)	0,027	0,037	0,040
954	0,55	0,53	0,54	0,55
1045	1,80	1,93	1,65	1,68
1500	85	116	86	98
1775	280	430	385	450

montre que nous sommes d'accord jusqu'à 1500°, mais qu'à 1775° la discordance est complète.

M. Le Chatelier attribue cette discordance à un défaut d'équilibre qui existerait dans le four où je fondais le platine, « la voûte du four étant certainement plus froide que le métal frappé directement par le jet du chalumeau oxhydrique ». J'ai toujours, au contraire, observé, après plusieurs fusions successives, un échauffement de la voûte tel qu'il faut en éloigner l'extrémité du chalumeau de plusieurs centimètres, si l'on ne veut pas la voir fondre immédiatement. Dans ces conditions, la solidification du platine fondu devient très lente et une nouvelle fusion s'opère en quelques

(¹) Le Chatelier, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. CXIV, p. 214, 340, 470 et 737; 1892; et *Séances de la Société de Physique*, p. 146 de ce volume.

(²) Nombre calculé par la formule que j'ai donnée pour représenter l'intensité d'une radiation entre 775° et 1775°, l'observation directe étant ici très incertaine, par suite du manque d'intensité.

Digitized by Google

instants avec une dépense de gaz insignifiante. Tout annonce un équilibre de température presque complet. Pour le palladium, qui fond à 1500°, j'ai opéré à dessein de deux façons différentes, le métal étant placé dans un creuset entouré de palladium fondu au milieu d'un très gros four Perrot, ou bien étant chauffé directement dans un four en chaux, comme le platine à 1775° : les résultats ont été identiques, preuve certaine qu'avec des précautions convenables le four en chaux peut constituer une enceinte irréprochable.

Par contre, n'est-il pas à craindre que la flamme qui entoure le corps rayonnant dans les expériences de M. Le Chatelier, et que ce savant regarde comme parfaitement transparente, n'apporte quelque perturbation au phénomène, ainsi que cela semble résulter des expériences relatives au platine mat?

D'autre part, malgré tout le soin donné au choix des verres, a-t-on vraiment opéré une radiation simple? J'ai moi-même employé au début de mes recherches le procédé si commode du verre rouge; mais j'ai dû y renoncer parce qu'un tel verre devient de moins en moins monochromatique à mesure que la température du corps rayonnant s'élève. Le nombre (323) que j'avais alors obtenu à 1775° se rapproche de celui (385) qu'a trouvé depuis M. Le Chatelier et diffère peu de celui (345) que l'on déduit des mesures antérieures d'Edmond Becquerel [1], si on les ramène aux températures que j'ai données pour les points de fusion des métaux réfractaires.

Il ne me semble donc pas que les expériences de M. Le Chatelier contredisent la conclusion que j'avais tirée de mes mesures, à savoir que l'intensité d'une radiation simple ne croît pas indéfiniment avec la température, mais qu'elle tend vers un maximum déterminé.

A l'appui de cette manière de voir, je citerai les résultats suivants d'expériences déjà anciennes dans lesquelles j'ai étudié avec une pile thermo-électrique le rayonnement émis par un fil de platine incandescent et transmis par un prisme et une lentille de sel gemme, la pile étant placée dans l'infrarouge à une distance du

---

[1] Henri Becquerel, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. CXIV, p. 390; 1892.

Digitized by Google

rouge extrême sensiblement égale à la largeur du spectre visible.

1000°	1
1200	1,85
1400	2,47
1600	2,91

Ces nombres montrent que *l'intensité de la radiation ne croît plus très vite au delà d'une certaine limite.*

Si elles touchent à une question théorique du plus vif intérêt, les difficultés signalées plus haut n'ont guère d'importance au point de vue de la pyrométrie optique. Un photomètre gradué avec un verre rouge déterminé conviendra parfaitement, pourvu que les conditions d'observation soient les mêmes dans tous les cas; et les meilleures conditions seront évidemment, ainsi que je l'ai déjà dit, la visée directe d'un corps en équilibre thermique avec l'enceinte dont on veut déterminer la température, ce corps étant autant que possible identique à celui qui a servi à la graduation de l'appareil.

Sur les adiabatiques d'un système de liquide et de vapeur;

par M. C. Raveau.

Nos connaissances générales relatives aux propriétés calorimétriques des vapeurs se réduisent aux deux points suivants :

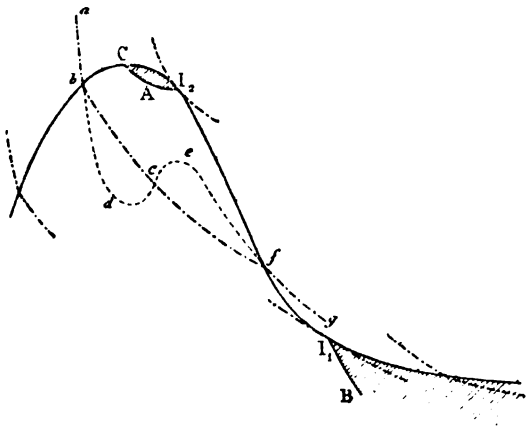
1° Il existe, certainement pour plusieurs corps et vraisemblablement pour tous, une température à laquelle la chaleur spécifique de vapeur saturée change de signe, en passant du négatif au positif lorsque la température s'élève; la courbe de saturation [1] est donc tangente, au premier point d'inversion I_1 (*fig.* 1), à une adiabatique dont les points voisins du point de contact sont à l'intérieur de cette courbe.

[1] J'ai adopté l'expression de *courbe de saturation* pour désigner le lieu des points qui représentent le liquide saturé et la vapeur saturée.

Digitized by Google

2° M. Mathias (¹) a indiqué que la chaleur spécifique de vapeur saturée devenait infinie et négative au voisinage du point critique; il existerait un second point d'inversion I_2 (*fig.* 1), où l'adiabatique tangente à la courbe de saturation serait extérieure à cette courbe.

Fig. 1.



Dans un travail *Sur la continuité entre l'état liquide et l'état gazeux et sur la théorie générale des vapeurs* (²), M. Duhem a énoncé le même résultat, qu'il avait obtenu, en même temps que M. Mathias, par une voie entièrement théorique. La démonstration que j'en donne plus loin me semble affranchie de quelques objections que l'on pouvait faire aux deux précédentes.

Dans ce travail : 1° j'étudie les propriétés calorimétriques de la matière au voisinage du point critique; 2° je donne des théorèmes généraux sur la forme et l'orientation des adiabatiques à l'intérieur et au voisinage de la courbe de saturation.

I. Considérons, au voisinage du point critique C, la courbe de saturation ABC, supposée tracée dans le plan des pv (*fig.* 2), et la partie rectiligne AB d'une isotherme infiniment voisine de l'iso-

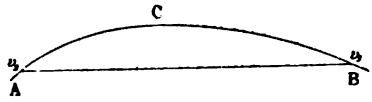
(¹) Thèse de doctorat. *Séances de la Société de Physique*, année 1890, p. 122.

(²) *Travaux et Mémoires des Facultés de Lille*, 1891. Sur quelques divergences entre les résultats énoncés dans ce travail et ceux du présent Mémoire, je renverrai le lecteur à une Note de M. Duhem (voir *Journal de Physique*, 3e série, t. I, p. 470).

Digitized by Google

therme critique; j'établirai d'abord que les quantités de chaleur dégagées suivant AB et ACB ne diffèrent que d'un infiniment petit d'ordre supérieur au second.

Fig. 2.



En effet, appelons v_1 et v_2 les volumes spécifiques de la vapeur saturée et du liquide saturé et $d\varpi$ la quantité infiniment petite dont varie la pression de saturation entre le point critique et l'isotherme AB; l'aire ACB est de l'ordre de $(v_1 - v_2)\, d\varpi$. Si $v_1 - v_2$ est du premier ordre, $d\varpi$ est d'un ordre supérieur, d'après la forme de la courbe, et le produit est d'un ordre supérieur au second. En vertu du principe de l'équivalence, on a, en représentant la quantité de chaleur dégagée le long d'une ligne par les lettres qui désignent cette ligne mises entre crochets :

$$[ACB] + [BA] = \frac{1}{E}(v_1 - v_2)\, d\varpi,$$

$$[ACB] = [AB] + \frac{1}{E}(v_1 - v_2)\, d\varpi,$$

ce qu'il fallait démontrer.

Il en résulte que la quantité de chaleur dégagée le long d'un segment de ACB est dans un rapport fini avec la longueur de ce segment; en effet, on a

$$[AB] = \frac{T}{E}(v_1 - v_2)\frac{d\varpi}{dT};$$

la quantité de chaleur par unité de longueur de AB est

$$\frac{[AB]}{AB} = \frac{T}{E}\frac{d\varpi}{dT};$$

$\frac{d\varpi}{dT}$ a une valeur finie au point critique: le théorème est donc établi pour l'isotherme AB et, par suite de la remarque précédente, pour ACB.

Nous pouvons maintenant démontrer les théorèmes suivants:

Digitized by Google

1° *La chaleur spécifique* γ_2 *du liquide saturé est positive et infinie au point critique.*

En effet, on a

$$\gamma_2 = \frac{[AC]}{dt} = \frac{T}{E}\frac{d\varpi}{dT}\frac{dv_2}{dT},$$

mais

$$\frac{dv_2}{dT} = \frac{dv_2}{d\varpi}\frac{d\varpi}{dT},$$

et $\frac{dv_2}{d\varpi}$ devient infini au point critique.

2° *La chaleur spécifique* γ_1 *de la vapeur saturée est négative et infinie au point critique.*

3° *Au point critique le rapport* $\frac{\gamma_1}{\gamma_2}$ *a pour valeur* -1.

Avant d'établir ce théorème, je ferai une remarque sur les courbes qui divisent dans un rapport constant les parties rectilignes des isothermes; l'abscisse v d'un point de ces courbes est donnée par la formule

$$v = pv_1 + qv_2,$$

où nous supposons $p + q$ égal à 1.

On en tire

$$\frac{dv}{d\varpi} = p\frac{dv_1}{d\varpi} + q\frac{dv_2}{d\varpi};$$

au point critique, $\frac{dv_1}{d\varpi}$ et $\frac{dv_2}{d\varpi}$ sont infinis et de signe contraire; si ces deux dérivées sont de même ordre, il existe un couple de valeurs P, Q tel que

$$P\frac{dv_1}{d\varpi} + Q\frac{dv_2}{d\varpi}$$

soit fini, je dis qu'il n'y aura pas d'autre couple de valeurs satisfaisant à cette condition.

En effet, posons

$$V = P\,dv_1 + Q\,dv_2,$$

on aura

$$\frac{dv}{d\varpi} = \frac{dV}{d\varpi} + (P - p)\frac{dv_1}{d\varpi} + (Q - q)\frac{dv_2}{d\varpi};$$

les différences $P - p$, $Q - q$ sont de signe contraire; les deux

Digitized by Google

derniers termes du second membre sont de même signe et leur somme est infinie, par suite aussi $\frac{dv}{d\varpi}$. Ainsi, parmi les courbes qui divisent dans un rapport constant le segment rectiligne des isothermes, il ne peut y en avoir qu'une seule qui ne soit pas tangente à la courbe de saturation au point critique.

Il est évident que l'expérience ne peut nous désigner d'une façon absolue la valeur du rapport $\frac{P}{Q}$ auquel correspond cette courbe singulière; en effet, les expériences s'arrêtent à une distance *finie* du point critique; on pourra toujours considérer deux courbes assez voisines, quoique distantes d'une quantité finie, pour que, à la limite des expériences, leurs coefficients angulaires soient très voisins et qu'on ne puisse prévoir laquelle des deux fait un angle fini au point critique avec la courbe de saturation.

Il y a cependant une raison de croire que la courbe, lieu des milieux des cordes de la courbe de saturation coupe celle-ci sous un angle fini. Les expériences de MM. Cailletet et Mathias (1) et celles de M. Amagat (2) ont montré que la courbe qui représente, en fonction de la température, la demi-somme des densités du liquide et de la vapeur sous pression de saturation est une droite: M. Mathias (3) a déduit des expériences de M. Sidney Young que ce diamètre était bien rectiligne jusqu'à des températures inférieures de 300° à celle du point critique. Il est donc *extrêmement probable* que le diamètre se continue rectilignement, dans la région inaccessible à l'expérience, jusqu'au point critique.

Ceci posé, l'équation du diamètre considéré est

$$\frac{2}{\varphi} = \frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} = aT + b,$$

d'où l'on tire

$$\frac{2\,d\varphi}{\varphi^2} = \frac{dv_1}{v_1^2} + \frac{dv_2}{v_2^2} = -a\,dT,$$

ou

$$2\,d\varphi = \frac{\varphi^2(v_1^2 + v_2^2)}{v_1^2 v_2^2}\,\frac{v_2^2\,dv_1 + v_1^2\,dv_2}{v_1^2 + v_2^2},$$

(1) *Séances de la Société de Physique*, année 1886, p. 171 et 1887, p. 162.

(2) *Ibid.*, p. 230 de ce volume.

(3) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. CXV, p. 35; 1892.

Digitized by Google

et, en éliminant φ à l'aide de la première équation,

$$\frac{d\varphi}{d\varpi} = \frac{2(v_1^2 + v_2^2)}{v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2} \frac{v_2^2\, dv_1 + v_1^2\, dv_2}{(v_1^2 + v_2^2)\, d\varpi} = -\frac{a}{2}\frac{dT}{d\varpi}.$$

Au point critique, où v_1 et v_2 sont égaux, on a finalement

$$\frac{d\varphi}{d\varpi} = \frac{1}{2}\frac{dv_1}{d\varpi} + \frac{1}{2}\frac{dv_2}{d\varpi} = -\frac{a}{2}\frac{dT}{d\varpi},$$

ce qui prouve qu'en ce point la courbe lieu des milieux des parties rectilignes des isothermes fait bien un angle fini avec la courbe de saturation.

Les deux quantités infinies $\frac{dv_1}{d\varpi}$ et $\frac{dv_2}{d\varpi}$ ayant une différence finie, leur rapport est égal à -1, par suite aussi celui des deux chaleurs spécifiques γ_1 et γ_2, comme nous l'avions énoncé.

II. 1° *A l'intérieur de la courbe de saturation, la distance des adiabatiques, comptée sur une parallèle à l'axe des v, va en croissant à mesure que la température s'abaisse.*

Désignons par Δv la distance de deux adiabatiques, on a

$$\frac{[\Delta v]}{T} = \text{const.};$$

mais

$$[\Delta v] = \frac{T}{E}\frac{d\varpi}{dT}\Delta v,$$

d'où

$$\frac{d\varpi}{dT}\Delta v = \text{const.}$$

La courbe qui représente la tension de vapeur en fonction de la température étant convexe vers l'axe des T, $\frac{d\varpi}{dT}$ va en décroissant avec la température; Δv va donc en croissant et le faisceau des adiabatiques s'épanouit à mesure que la température s'abaisse.

Les adiabatiques des gaz parfaits présentent la même propriété.

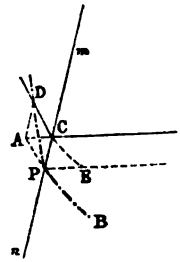
2° *En pénétrant à l'intérieur de la courbe de saturation, les adiabatiques se réfractent et leur direction se rapproche de celle de l'axe des v.*

Soit mn la courbe de saturation, du côté qui correspond au

Digitized by Google

liquide (*fig.* 3); D un point infiniment voisin, DC et DP l'isotherme et l'adiabatique qui passent par ce point. Cherchons à déterminer, sur le prolongement de la partie rectiligne de l'isotherme qui passe en C, le point A où viendrait passer l'adiabatique BP si elle se continuait régulièrement.

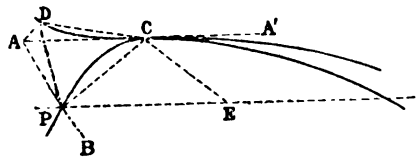
Fig. 3.



Pour cela, menons l'adiabatique CE; l'aire ACEP serait égale, d'après un théorème connu, au produit de la différence des températures en C et P par la différence des entropies. Il en est de même pour l'aire DCEP : les triangles DCP et ACP ont donc même surface et le point A se trouve sur une parallèle menée par D à la courbe *mn*, d'où résulte le théorème énoncé.

Au point critique, le théorème ne s'applique plus, parce que l'angle ACD est infiniment petit (*fig.* 4); néanmoins la propriété subsiste [1].

Fig. 4.



En effet, par un point D distant de C d'une longueur infiniment petite du premier ordre, menons une parallèle à PC; à cause

---

[1] En admettant qu'au voisinage du point critique l'isotherme se confonde avec une courbe du troisième degré et la courbe de saturation avec une courbe du second degré; dans le cas général où dv_2 serait d'un ordre égal à n fois celui de dv, il faut, pour que les trois côtés du triangle ADC soient de même ordre, que la variation de p pour l'isotherme soit d'un ordre égal à $(2n-1)$ fois celui de la variation de v.

Digitized by Google

de l'inflexion de l'isotherme, la distance de D à la droite AC est du troisième ordre et l'angle DCA est du second ordre. DAC, qui est égal à CPE, est du premier ordre; la longueur AD est du second ordre; il en est de même de AP et de PD : les trois côtés du triangle ADC sont du même ordre, les angles sont finis et l'adiabatique se réfracte.

Continuons à décrire la courbe de saturation : au point I_2 (*fig.* 1) ces deux branches de l'adiabatique se raccordent; au delà la branche de gauche est située *au-dessous* du prolongement de l'autre. Il y a un nouveau raccord en I_1, avec interversion. Dans tous les cas, l'adiabatique est moins inclinée sur l'axe des v à l'intérieur de la courbe qu'à l'extérieur.

Considérons, en particulier, une des adiabatiques qui passent entre I_1 et I_2; en cherchant à raccorder les parties *ab*, *gf* de la courbe situées à l'extérieur de la courbe de saturation, on est amené à considérer une adiabatique théorique *abdcefg* dont la forme serait analogue à celle des isothermes théoriques de J. Thomson et de Van der Waals. Le long du cycle *bdcefcb* la quantité de chaleur dégagée est nulle; les deux aires *bdcb* et *cefc* seraient donc égales, comme dans le cas des isothermes.

Pour les adiabatiques situées plus bas, de même que pour celles qui coupent la courbe de saturation au delà de I_1, on ne peut guère, même en se laissant guider par la continuité, faire que des hypothèses assez hasardées, sur lesquelles je n'insisterai pas.

Le lieu des points *c* doit passer par I_2; le lieu des points où les isothermes réelles et idéales se coupent passe en C : ils ne sauraient donc coïncider. Ceci peut paraître en contradiction avec le fait que ces deux lieux doivent être les projections de l'intersection de la nappe réelle et de la nappe idéale de la surface représentative de l'état du corps. Toutefois, la contradiction n'est qu'apparente : en effet, en *c* le volume, la pression et l'entropie d'un certain état réel et d'un état idéal ont la même valeur; le point *c* appartiendra donc à la fois aux deux nappes si la surface est construite en prenant pour coordonnées, outre la pression et le volume, l'entropie. Mais il n'en sera plus de même si l'on prend comme troisième coordonnée la température; la courbe commune aux deux nappes varie avec le choix des coordonnées parce que les points qu'elle contient, considérés comme faisant partie d'une

Digitized by Google

nappe ou de l'autre, ne correspondent pas à des états identiques *à tous les points de vue.*

On étudie quelquefois les propriétés des vapeurs saturées en représentant les courbes dans le plan des vt; avec ce nouveau système de coordonnées, il y a encore réfraction des adiabatiques (¹).

Supposons, en effet, que nous transportions la *fig.* 2 dans le plan des vt avec une échelle de transformation telle que la distance de deux isothermes infiniment voisines, auprès du point C, reste la même. Rien ne sera changé à l'intérieur de la courbe de saturation; à l'extérieur de cette courbe nous devrons remplacer le point D par sa projection sur AC puisque l'abscisse reste la même et que l'isotherme devient entièrement rectiligne; la réfraction subsistera.

Ce résultat pourrait aussi s'établir directement : considérons un trapèze infiniment petit ayant pour diagonale un élément de la courbe de saturation et pour côtés opposés, respectivement deux éléments d'isotherme et d'adiabatique. D'après la formule de Clapeyron, la variation d'entropie le long d'une isotherme, pour une variation de volume unité, est, à l'intérieur de la courbe de saturation, $\frac{d\varpi}{dT}$, à l'extérieur $\frac{\partial p}{\partial T}$ (la dérivée étant prise à volume constant). Ces deux quantités sont différentes; les deux éléments d'isotherme, devant correspondre à des variations égales d'entropie, auront des longueurs différentes.

Au point critique $\frac{d\varpi}{dT}$ et $\frac{\partial p}{\partial T}$ deviennent égaux, mais le trapèze considéré est infiniment aplati; la discussion se ferait sans difficulté.

3° *A partir du point critique, une diminution de pression, adiabatique et infiniment petite, sépare des masses de liquide et de vapeur dont le rapport diffère de l'unité d'un infiniment petit de l'ordre de la diminution de pression.*

En effet, l'adiabatique critique fait un angle fini avec la courbe

---

(¹) Dans la *Théorie de la chaleur* de Maxwell, où ce système de coordonnées est employé, la réfraction de l'adiabatique n'est pas indiquée (p. 135, 5ᵉ édit. angl.).

Digitized by Google

de saturation, puisque, le long de cette dernière courbe, les dégagements de chaleur sont de l'ordre de la longueur des segments correspondants. L'adiabatique et la ligne le long de laquelle $p = q$ découpent donc sur une isotherme, infiniment voisine, un segment qui est de l'ordre de la variation de pression, d'où résulte le théorème énoncé.

Étudions maintenant, dans son ensemble, la détente adiabatique :

Entre la température critique et le second point d'inversion, le rapport $\frac{\gamma_1}{\gamma_2}$ prend toutes les valeurs comprises entre -1 et 0; à chaque valeur de ce rapport correspondra une valeur du quotient $\frac{p}{q}$ telle que $p\gamma_1 + q\gamma_2$ s'annule; par suite :

A toute température supérieure au second point d'inversion correspond un rapport entre les masses du liquide et de la vapeur tel que, dans la détente adiabatique, ce rapport se conserve et qu'il n'y ait ni condensation, ni volatilisation. Tous les points correspondants se trouvent sur une courbe CAI_2, à droite de laquelle une détente adiabatique est toujours accompagnée d'une condensation. Du second point d'inversion I_1 part une courbe I_1B jouissant des mêmes propriétés que la précédente; pour tous les points situés à gauche de CAI_2I_1B, une détente adiabatique est accompagnée d'une volatilisation.

En tout point des courbes CAI_2I_1B, l'adiabatique est tangente à une courbe le long de laquelle le rapport $\frac{p}{q}$ est constant; or on sait mener la tangente à ces courbes [1] : si, à une température

---

[1] Les droites joignant, sur deux isothermes, les points qui correspondent à une même valeur du rapport $\frac{p}{q}$ sont concourantes; il en est de même, à la limite, des tangentes aux courbes $\frac{p}{q} = \text{const.}$ menées en tous les points d'une même isotherme. Le point de concours est celui des tangentes à la courbe de saturation (qui correspond à $p = 0$ et $q = 0$). J'ai appliqué cette propriété à l'étude de la condensation dans les tubes de Natterer (*Société française de Physique*, 20 mai 1892). Ma démonstration a été citée par M. Amagat dans les *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, du 7 juin 1892.

Digitized by Google

donnée, on peut déterminer le rapport $\frac{p}{q}$ qui se conserve dans la détente, on pourra tracer la tangente à l'adiabatique en un point et, par suite, à toutes les adiabatiques à la même température.

SÉANCE DU 1er JUILLET 1892.

Présidence de M. Violle.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 juin est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Battelli (Angelo), Professeur à l'Université de Padoue (Italie).
Chassy (A.), Professeur à la Faculté libre de Lyon.

M. le Président annonce à la Société la perte douloureuse qu'elle vient de faire en la personne de M. l'Amiral *Mouchez*, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire.

M. le Secrétaire général signale, parmi les pièces de la Correspondance, l'envoi d'une Note de M. le comte L. Hugo, intitulée : « *Phénomènes d'irradiation signalés sur le disque de Vénus* ».

M. le Président annonce que l'Association française pour l'avancement des Sciences tiendra son 21e Congrès à Pau du 15 au 22 septembre 1892.

M. Abraham rend compte de quelques mesures qu'il a exécutées *sur le débit d'une machine électrostatique à influence*.

La machine employée réalise assez exactement les conditions théoriques. L'**inducteur** et le **collecteur** sont des conducteurs creux en argent (plans de verre parallèles argentés sans vernis). Les **porteurs** sont faits de même métal (argenture d'un disque de verre), et ce disque tourne à l'intérieur des conducteurs creux. Deux ressorts, qui frottent sur la circonférence du plateau mobile, servent à charger les porteurs quand ils passent dans l'inducteur et à les décharger lorsqu'ils sont entre les plateaux collecteurs. On a pu réaliser très simplement ce dispositif en utilisant le bâti d'une machine de Holtz.

Le mouvement est donné par un dynamo Gramme de la force d'un cheval; la vitesse de rotation du disque, étudiée par un procédé stroboscopique donnant plus du millième, est régularisée à la main.

On mesure le débit de la machine en équilibrant, dans un galvanomètre

Digitized by Google

différentiel, le courant discontinu de décharge, d'une part, et, d'autre part, un courant continu convenable *fourni par la pile de charge de la machine.*

Les mesures faites ont conduit aux résultats suivants :

1° Le débit est *rigoureusement* proportionnel au potentiel de charge de l'**inducteur**.

A vitesse constante, l'équilibre du différentiel n'est, en effet, pas troublé en changeant du simple au double le voltage de la pile de charge (80, puis 160 éléments Gouy).

2° Le débit est, *au millième,* proportionnel à la vitesse.

Voici une mesure (unités arbitraires) :

Vitesses.	Quotient de la vitesse par le débit.
$\frac{1}{6}$	1367
$\frac{1}{7}$	1367
$\frac{1}{8}$	1369

3° La valeur absolue du coefficient de débit est conforme à celui que l'on déduit par le calcul de la mesure des dimensions géométriques de l'appareil. La concordance ne dépasse pas ici *le centième*, parce que le *verre* du disque mobile apporte une perturbation de cet ordre de grandeur, et dont il est bien difficile de tenir compte exactement.

M. P. Curie reprend la suite de sa Communication, commencée dans la dernière séance, sur les recherches de MM. *J. Curie*, *Warburg* et *Tegetmeier*. — *Sur la conductibilité des diélectriques.* — M. J. Curie a essayé de reconnaître sous quelle influence se révèlent les propriétés conductrices particulières qu'il a rencontrées dans les diélectriques. Une plaque diélectrique fêlée absorbe des traces d'eau dans ses fissures, une plaque de porcelaine dégourdie se comporte de même dans une atmosphère humide. On trouve que la conductibilité qui résulte des traces d'eau contenues dans ces plaques est tout à fait du même genre que la conductibilité des diélectriques. Lorsque ces plaques sont dans une atmosphère presque sèche elles montrent une conductibilité apparente qui diminue avec le temps à partir du moment où l'on établit la différence de potentiel. On retrouve la loi de superposition, et la polarisation en volume qui naît pendant le passage du courant peut atteindre plusieurs centaines de volts.

Lorsque l'on a chauffé le quartz à une haute température, on constate qu'il a perdu, ensuite, à la température ambiante, ses propriétés conductrices dans le sens de l'axe optique. La perte de conductibilité est d'autant plus complète que le temps de chauffe a été plus long et la température plus élevée. Il semble dès lors vraisemblable qu'une matière étrangère volatile, de l'eau par exemple, intervient dans des phénomènes de conductibilité du quartz.

Digitized by Google

Les expériences de MM. Warburg et Tegetmeier ne confirment pas cette dernière hypothèse. Ces expérimentateurs ont opéré vers 200° ou 300°. Un courant traverse des plaques de verre ou de quartz. Une couche de mercure pur et une couche d'amalgame de sodium sont employées comme électrodes sur les faces des plaques. Lorsque le mercure pur est employé comme anode, le courant ne tarde pas à s'arrêter et il se forme une couche de silice non conductrice. Avec l'amalgame de sodium comme anode le courant persiste et devient constant, le sodium traverse la lame et on peut très exactement vérifier la loi de Faraday. Avec l'amalgame de lithium comme anode le courant passe encore; mais avec l'amalgame de potassium le courant s'éteint assez rapidement.

Le verre a une conductibilité électrolytique normale et constante et la plus grande partie du sodium qu'il contient intervient dans le phénomène et peut être remplacé par du lithium lorsque l'on emploie de l'amalgame de lithium comme anode.

Le quartz conduit seulement dans le sens de l'axe optique. D'après M. Tegetmeier il contient naturellement de $\frac{3}{10000}$ à $\frac{8}{10000}$ de lithium ou de soude et, malgré cette faible quantité de matière électrolysable, il conduit autant que le verre. La conductibilité d'une plaque de quartz augmente en même temps que la différence de potentiel entre les faces.

M. Tegetmeier, après avoir chauffé des plaques de quartz à une température très élevée, trouve que la conductibilité à 220° n'a pas été modifiée par cette opération. Ce résultat semble opposé à celui trouvé par M. J. Curie. M. P. Curie pense que le désaccord n'est qu'apparent : les expériences des deux auteurs inspirent une égale confiance. Suivant lui, le quartz doit avoir perdu ses propriétés conductrices quand il a été porté à une haute température, mais il doit redevenir conducteur lorsqu'il est mis à la température de 220° au contact de l'amalgame de sodium qui contient toujours un peu de soude.

Sur le débit d'une machine électrostatique à influence;

Par M. H. Abraham.

1. L'appareil qui a servi pour nos mesures réalise assez exactement la machine théorique.

Cette sorte d'électrophore continu comporte un disque en glace de Saint-Gobain (diamètre 50^{cm}, épaisseur 3^{mm}) qui sert de support rigide à deux *porteurs* en argent A et A' (¹). Le disque

(¹) Pour constituer ces conducteurs, on a tout d'abord collé à la gomme laque un ruban d'argent sur la tranche du disque, puis on a complètement argenté

Digitized by Google

tourne, autour de l'axe O, entre deux plans fixes un peu plus grands (diamètre 60^{cm}, épaisseur 5^{mm}); toutefois ceux-ci ne sont argentés que sur leurs faces internes; la largeur de la bande diamétrale isolante est réduite à 2^{cm}, leur argenture déborde donc de 5^{cm} sur celle du plateau mobile. Les deux secteurs supérieurs des plans fixes forment le *collecteur* C, les secteurs inférieurs constituent l'*inducteur* B. On prend le contact avec B et C au moyen de petites pinces *p*, *p*, en laiton doré. On a utilisé, pour le montage, le bâti d'une machine de Holtz; les grands plateaux sont fixés par des vis et des écrous en ébonite E.

La machine, bien suspendue, est animée par un moteur Gramme d'un cheval avec transmission souple. La méthode stroboscopique permet d'obtenir une rotation régulière. A cet effet, un aide observe le disque stroboscopique D sur lequel un diapason à miroir fait osciller un trait lumineux (image réelle du filament incandescent d'une lampe électrique). En agissant à la main sur l'axe, on obtient l'immobilité apparente de l'une des couronnes circulaires de D, c'est-à-dire la fixité dans la vitesse de rotation, avec toute la précision que comporte le diapason, soit un peu plus du millième, lorsqu'on utilise l'entretien électrique.

2. Le fonctionnement se comprend aisément.

Lorsque le *porteur* A passe dans l'*inducteur* B, le ressort R_1 le met en communication directe avec le sol : B charge A par influence. A, continuant à tourner, passe bientôt dans C qui est au sol et le ressort R_2 le met au sol par l'intermédiaire d'un galvanomètre : A s'y décharge complètement; puis A passe dans B, etc., et le deuxième porteur, A', double l'effet du premier.

Le courant discontinu fourni par l'appareil ne traverse en réalité que l'un des circuits, G_2, d'un galvanomètre différentiel (la paire de bobines supérieures d'un Thomson de 13000^{ω}). L'autre fil, G_1, est parcouru par une dérivation convenable que fournit la pile de charge elle-même, et l'on équilibre le différentiel en réglant la résistance variable α.

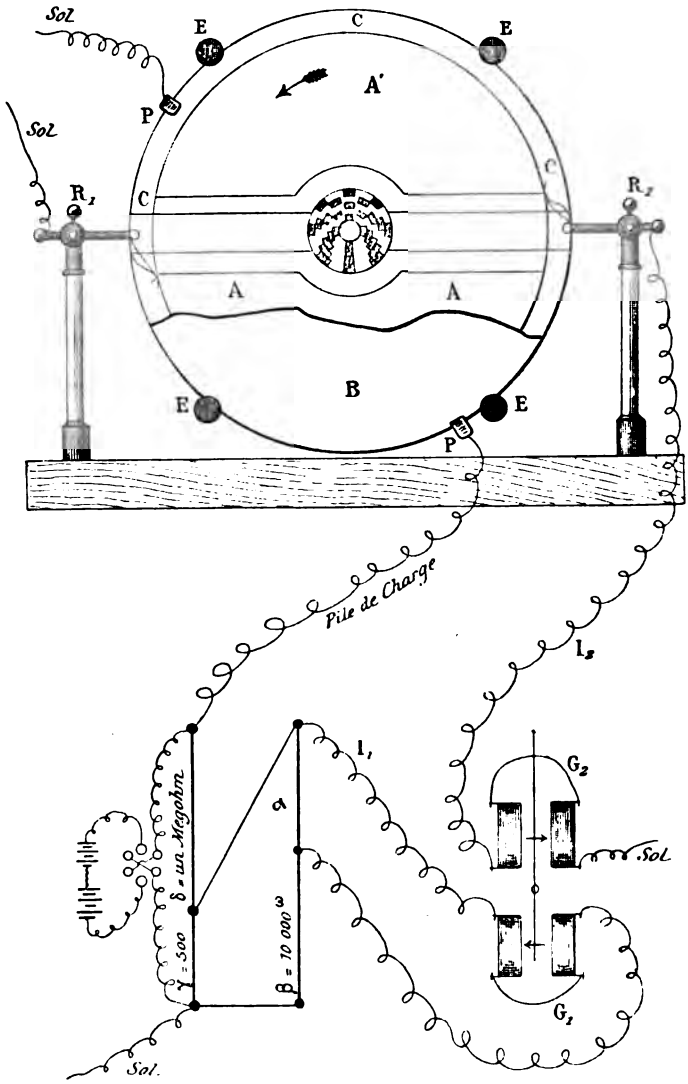
---

celui-ci, dessus, dessous et bords; après quoi l'on a détruit l'argent des deux faces et de la tranche sur une large bande diamétrale qui a isolé les deux porteurs A et A'.

Digitized by Google

3. On a pu établir en premier lieu que *la quantité d'électri-*

Fig. 1.



cité débitée par la machine est rigoureusement proportionnelle au potentiel de charge de l'inducteur B.

Digitized by Google

L'équilibre étant en effet établi et laissant la vitesse bien constante, on a fait varier ce potentiel de charge du simple au double (40 et 80 éléments Gouy) : l'équilibre a subsisté. Or le courant qui passe dans G_2 est exactement proportionnel au potentiel de charge (loi d'Ohm); si donc l'équilibre du différentiel a subsisté, c'est que le débit de la machine, lui aussi, est proportionnel à ce potentiel. Et la proposition est établie par une expérience de substitution rapide, très sûre par conséquent : je répondrais presque du dix-millième.

4. On a fait varier la vitesse de la machine suivant les rapports simples auxquels conduit la méthode stroboscopique; et l'on a pu voir que, au millième, *le coefficient de débit* (capacité) *de la machine est proportionnel à la vitesse de rotation.*

Il suffisait évidemment de montrer que la fraction i_1 de courant principal I qu'il faut envoyer dans G_1 pour rétablir l'équilibre est proportionnelle à la vitesse; et cette fraction elle-même dépend d'une manière très simple des résistances du circuit

$$\frac{i_1}{I} = \frac{\alpha\gamma}{\alpha(\beta+\gamma+G_1)+G_1(\beta+\gamma)}.$$

Voici, d'ailleurs, une expérience :

Pour des vitesses de rotation n proportionnelles à

$$\frac{1}{8},\quad \frac{1}{7}\quad \text{et}\quad \frac{1}{6},$$

la résistance α prit successivement les valeurs

$$394^{\omega},0,\quad 456^{\omega},9,\quad 512^{\omega},5,$$

avec

$$(\beta = 9986^{\omega},\qquad \gamma = 500^{\omega},8,\qquad G_1 = 6248^{\omega}).$$

On en déduit que le rapport $n : \frac{i_1}{I}$, qui eût dû être constant, a pris des valeurs proportionnelles à

1,367,
1,367,
1,369.

Le procédé employé pour régulariser la vitesse ne peut pas

Digitized by Google

donner une précision beaucoup plus considérable, car pour des expériences qui, comme celle-ci, doivent durer plusieurs minutes, on ne peut pas affirmer que la période du diapason entretenu électriquement ne varie pas de quelques dix-millièmes.

5. Il était encore intéressant de voir que le coefficient de débit de la machine était bien celui que l'on peut calculer d'après ses dimensions géométriques. Pour ces mesures absolues, l'appareil avait été pourvu d'un compteur de tours à enregistrement électrique.

Soit C la valeur électrostatique de la capacité d'un *porteur* quand il est à l'intérieur de l'*inducteur* B et qu'il communique avec le sol. B étant chargé à un potentiel mesuré en unités électromagnétiques par

$$I(\gamma + \delta),$$

le débit de la machine faisant n tours par seconde est, dans ce dernier système d'unités,

$$i_2 = 2n\frac{C}{v^2}I(\gamma + \delta).$$

Si k est la constante du différentiel, on doit avoir

$$i_1 = ki_2,$$

c'est-à-dire

$$I\frac{\alpha\gamma}{\alpha(\beta + \gamma + G_1) + G_1(\beta + \gamma)} = 2kn\frac{C}{v^2}(\gamma + \delta)I,$$

et l'on peut même considérer cette expression comme fournissant une détermination de v [1],

$$v = \sqrt{2knC\frac{\gamma + \delta}{\gamma}\frac{\alpha(\beta + \gamma + G_1) + G_1(\beta + \gamma)}{\alpha}}.$$

Toute la difficulté réside dans l'évaluation de la capacité C.

---

[1] C'était précisément en vue d'obtenir *une nouvelle détermination de v* que ces mesures avaient été entreprises; elles ont conduit à des expériences plus précises qui font l'objet d'une autre Communication (*voir* Séance du 18 novembre). On y pourra trouver en détail la détermination du coefficient k et des diverses résistances.

Digitized by Google

Cette capacité a pour expression

$$C = \frac{S}{4\pi e},$$

où e représente la distance moyenne des armatures et S la *surface utile du porteur.*

Par *surface utile,* il faut entendre la surface géométrique, $1360^{cm^2},5$, à laquelle il faut tout d'abord ajouter une surface de $75^{cm^2},2$ pour la correction due au bord extérieur (formule de Kirchhoff). Quant à la correction due aux bords intérieurs, elle est tout à fait incertaine et peut devenir soit $65^{cm^2},4$, soit $87^{cm^2},1$ selon la valeur 2 ou 3 que l'on attribue à la constante diélectrique du verre.

Cette incertitude eût pu être réduite en employant un système de garde, mais cela n'était pas bien nécessaire, car la valeur de e n'est pas non plus bien sûre. On mesure e en pointant les surfaces avec une lunette portée par le chariot d'une machine à diviser; les pointés sont très précis; mais la rotation de la machine peut produire des déplacements appréciables des plateaux fixes qui font varier e.

En somme, la capacité ne peut être calculée au centième sûr; on ne doit donc pas s'attendre à un contrôle plus exact (cette concordance, d'ailleurs, est juste atteinte par les expériences); nous en donnerons un seul exemple :

$$k = 1,0587, \qquad n = 6^{tours},835, \qquad e = \begin{cases} 1^{re}\text{ face} \ldots\ldots & 0^{cm},878 \\ 2^{e}\text{ face} \ldots\ldots & 0^{cm},809 \end{cases}$$

$$\frac{\gamma+\delta}{\gamma} = 19937, \qquad \beta+\gamma = 10487^{\omega}, \qquad G_1 = 6108^{\omega},$$

$$\alpha = 316^{\omega},2.$$

Si l'on adopte l'une ou l'autre des deux corrections pour S, on trouve

$$v = 2,98.10^{10}$$

ou bien

$$v = 3,01.10^{10}.$$

C'est bien là, au centième, la valeur exacte du rapport v; c'est-à-dire que, à ce degré d'exactitude, *le débit observé est bien égal au débit calculé.*

6. En résumé, en établissant une machine électrostatique à

Digitized by Google

induction bien définie, on a obtenu une concordance très satisfaisante entre la théorie et l'expérience pour les points suivants :

1° *Le débit est proportionnel au potentiel de charge de l'inducteur, au* $\frac{1}{10000}$.

2° *Le débit est proportionnel à la vitesse, au* $\frac{1}{1000}$.

3° *Le débit observé est égal au débit calculé, au* $\frac{1}{100}$.

Mais il convient de dire que pour les expériences actuelles les mesures sont beaucoup plus sûres que le calcul *a priori*, et c'est surtout à ce dernier que doivent être attribués les écarts.

SÉANCE DU 15 JUILLET 1892.

PRÉSIDENCE DE M. VIOLLE.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er juillet est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. CASTEX (Edmond), Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier.

DE MENDIZABAL TAMBORREL, Ingénieur Géographe à Mexico (Mexique).

M. D.-A. CASALONGA se propose de démontrer :

1° *Que, de toute chaudière, qui alimente une machine à vapeur, il disparaît une quantité de chaleur* Apu, *équivalente au travail de pleine pression, et qui n'a jamais été comptée;*

2° *Qu'il est nécessaire de distinguer la vaporisation, avec condensation simultanée, effectuée à pression constante et à volume constant, d'avec la vaporisation s'effectuant à volume variable, contre un piston qui rétrograde sous pression constante.*

D'après lui Clausius et M. le Professeur Zeuner auraient fait une confusion, quand ils ont assimilé la vaporisation, avec condensation simultanée, ainsi qu'elle a lieu dans les appareils calorimétriques de Regnault et de M. Berthelot, à la vaporisation telle qu'elle s'effectue dans une chaudière dont la vapeur produit un travail extérieur.

Jusqu'aux travaux de Clausius et du Dr Zeuner, on croyait que la quantité de chaleur totale L ou λ, déterminée par de nombreux expérimentateurs depuis Watt, et vérifiée par Regnault, représentait la quantité de

Digitized by Google

chaleur *totale, renfermée, contenue* dans la vapeur, et comprenait la *chaleur du liquide* q plus la chaleur dite latente l, soit $L = q + l$, que l'on a écrit plus tard $\lambda = q + r$.

Le Professeur Zeuner, s'inspirant des idées émises par Clausius, et considérant les valeurs de L déterminées par Regnault, a modifié ces valeurs, en en retranchant la quantité de chaleur Apu et écrivant

$$J = \lambda - Apu.$$

J représente la quantité de chaleur *finalement* existante dans le kilogramme de vapeur considérée.

De même il a écrit

$$\rho = r - Apu,$$

ρ représentant la nouvelle valeur de la chaleur de vaporisation, auparavant dite latente.

M. D.-A. Casalonga croit que ces deux nouvelles valeurs physiques n'ont pas de raison d'être, que les valeurs déterminées par Regnault sont exactes, qu'il n'y a rien à en retrancher, et que $\lambda = q + r$ représente bien, dans le kilogramme considéré de vapeur saturée, la quantité de chaleur à la fois *reçue, contenue* et *restituée*.

Que c'est seulement quand la vapeur produit un travail extérieur pu que la quantité de chaleur équivalente Apu intervient: mais alors cette quantité de chaleur doit être ajoutée à λ, puisqu'elle est *fournie* en plus, et l'on doit écrire

$$J' = \lambda + Apu = q + (r + Apu).$$

Il insiste sur ce point essentiel, en recourant à des figures faites au tableau représentant les appareils de Regnault et de M. Berthelot et un appareil idéal tour à tour chaudière à vapeur et cylindre avec piston, que, dans les appareils de Regnault et de M. Berthelot, le phénomène est *tout entier intérieur;* qu'il n'y a *aucune variation de volume,* par suite *aucun travail extérieur,* de produit; donc la quantité Apu ne saurait intervenir. Dans ces appareils la vapeur saturée et l'air peuvent être considérés comme étant mélangés suivant la loi de Dalton, et le phénomène de vaporisation ne diffère pas de celui d'une évaporation à l'air libre.

M. Pellat ne peut admettre la manière de voir de M. Casalonga. Il fait remarquer que dans l'appareil de Regnault ou de M. Berthelot il règne en tous les points une pression sensiblement égale à la pression maxima de la vapeur pour la température de la chaudière. Dans celle-ci se trouve de la vapeur pure, dans le condenseur situé à l'intérieur du calorimètre un mélange d'air et de vapeur. Il résulte de là qu'en se condensant la vapeur abandonne au calorimètre :

1° La chaleur correspondante à la diminution d'énergie due au passage de l'état gazeux à l'état liquide à la même température;

Digitized by Google

2° La quantité de chaleur équivalente au travail reçu par la vapeur en se condensant, égale à $Ap(u - u')$ (ou Apu si l'on néglige le volume spécifique u' du liquide).

La quantité mesurée par Regnault, et par les autres physiciens qui ont employé une méthode analogue, est donc bien celle qui intervient dans la vaporisation de l'eau d'une chaudière alimentant une machine produisant du travail.

Au surplus, la formule de Clapeyron

$$(1) \qquad L = A\theta(u - u')\frac{dp}{d\theta},$$

qui donne la chaleur latente de vaporisation *externe* L, celle qui concerne la machine à vapeur, et d'où l'on peut déduire la chaleur latente de vaporisation *interne* l, celle qui correspond à la variation d'énergie seulement du corps

$$(2) \qquad l = A\theta(u - u')\frac{dp}{d\theta} - Ap(u - u'),$$

ne peut laisser aucun doute sur ce point, car elle permet de calculer L et l au moyen d'expériences indépendantes de la mesure directe de ces quantités. Or on trouve, d'après les expériences de Regnault et de M. Pérot, pour la valeur de L calculée par la formule (1) un nombre qui ne diffère pas de $\frac{1}{500}$ de celui trouvé dans l'expérience de Regnault, tandis que la valeur calculée par la formule (2) en diffère de $\frac{1}{13}$ environ.

Tout le beau travail que M. Pérot a présenté comme thèse de Doctorat est une réfutation expérimentale de la manière de voir de M. Casalonga.

M. D.-A. Casalonga fait remarquer que, si l'on considère la vaporisation à 100° d'un même kilogramme d'eau à zéro, d'abord dans une chaudière où existe au commencement un vide relatif, puis dans cette même chaudière sous-vide, transformée en un cylindre où se meut un piston du poids de l'atmosphère, la vapeur, dans les deux cas, arrivera à un même état final, renfermant par conséquent, suivant le postulatum connu, la même quantité de chaleur actuelle.

Cependant, dans le second cas, elle a fourni un travail extérieur qui n'a pas eu lieu dans le premier.

Il croit donc pouvoir déduire sûrement de cela que la quantité de chaleur fournie dans les deux cas n'est pas la même, et que dans le second cas il faut ajouter à la chaleur de *formation* de la vapeur, de quelque manière que cette vapeur ait été formée, la chaleur Apu équivalente au travail extérieur effectué.

Quant aux formules qu'on lui oppose il n'a pas besoin d'en contester l'exactitude. Les formules rendent sous une certaine forme ce qu'on leur a donné sous une autre forme. Ce qui importe, c'est que la vue philosophique du phénomène qui leur sert de base soit bien nette et que l'hypothèse admise soit exacte.

Digitized by Google

M. Pellat fait de nouveau remarquer que si dans l'expérience de Regnault ou de M. Berthelot le travail fourni par l'appareil total est nul, il n'en est pas de même pour la partie de l'appareil (calorimètre) où se fait la mesure de la quantité de chaleur.

La chaudière fournit constamment du travail, car la vapeur en se formant est obligée de repousser la vapeur déjà formée comme elle le ferait pour un piston.

Le condenseur (calorimètre) reçoit constamment du travail, car la vapeur de la chaudière pousse celle du condenseur comme le ferait le piston d'une pompe foulante.

Quant à la formule de Clapeyron, il n'y a aucune hypothèse faite pour l'établir. Elle se déduit immédiatement de la définition même des quantités qui y figurent et de l'application du principe de Carnot, auquel il faut ajouter le principe de l'équivalence, si l'on y met en évidence l'équivalent mécanique de la chaleur et la température absolue.

Les images catoptriques de l'œil humain : M. Tscherning. — Dans tout instrument d'optique on peut distinguer entre : les rayons *utiles,* qui contribuent à la formation de l'image, qu'on observe; les rayons *perdus,* qui à la suite de réflexions aux différentes surfaces sortent de l'instrument du côté de l'objectif; et les rayons *nuisibles* qui à la suite de réflexions répétées sortent du côté de l'oculaire et en entrant dans l'œil observateur peuvent devenir une cause de gêne. Quant à cette répartition de la lumière incidente, l'œil humain est supérieur, non seulement à tout autre instrument dioptrique, mais même à une simple lentille, comme on le voit dans le Tableau suivant :

	Lentille.	Œil.
Lumière utile	92	97
» perdue	8	3
» nuisible	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{300}$

Dans les instruments compliqués la perte de la lumière est beaucoup plus grande et peut atteindre un tiers ou plus de la lumière incidente. En négligeant les rayons dont l'intensité ne dépasse pas la limite de visibilité, on trouve qu'un rayon incident se divise dans l'œil en sept rayons dont un *utile,* quatre *perdus,* un pour chaque surface réfringente, et deux *nuisibles.*

Chacun de ces derniers est le résultat d'une première réflexion à une des surfaces cristalliniennes, et d'une deuxième à la surface antérieure de la cornée, qui les rejette vers la rétine.

Correspondant à ces sept rayons il se forme dans l'œil sept images d'un objet lumineux. Quatre de ces images sont connues : ce sont l'image utile et les trois images de Purkinje formées par des rayons perdus. M. Tscherning vient d'en trouver encore deux autres.

L'une est la quatrième image perdue, formée par réflexion à la surface

Digitized by Google

postérieure de la cornée. Il l'a employée pour mesurer le rayon de cette surface, qui est de 6^{mm} et l'épaisseur de la cornée qui est d'environ 1^{mm}.

L'autre image nouvelle est subjective, formée par des rayons nuisibles, qui après avoir été réfléchis par la surface postérieure du cristallin sont de nouveau réfléchis par la cornée. Pour l'observer on n'a qu'à regarder droit devant soi dans une chambre obscure en tenant à la main une bougie à environ 20° de la ligne visuelle. En la promenant un peu de côté et d'autre, on voit paraître, de l'autre côté de la ligne visuelle, une image pâle de la flamme, qui se meut symétriquement à celle-ci. L'image paraît renversée à cause de la projection en dehors, en réalité elle est droite.

L'image produite par le deuxième rayon nuisible se forme très en avant dans l'œil. M. Tscherning n'a pas réussi à la rendre visible.

En terminant, M. Tscherning invite les Membres de la Société qui désireraient voir les expériences à venir à la Sorbonne au Laboratoire d'Ophtalmologie.

Les sept images de l'œil humain.

PAR M. TSCHERNING.

On sait que, dans l'œil humain, outre l'image dioptrique, qui sert pour la vision, il se forme trois images catoptriques, connues sous le nom d'*images de Purkinje*. Je viens de trouver qu'il existe encore deux images, plus une autre qui n'est pas visible pour des raisons que j'indiquerai tout à l'heure, de telle sorte que le nombre total d'images dans l'œil devient égal à sept.

Chaque fois qu'un rayon lumineux rencontre une surface qui sépare deux milieux transparents, il se fait, comme on sait, une réflexion d'une partie de sa lumière. Dans tout instrument dioptrique, il se forme ainsi une série de rayons qui sortent du côté de l'objectif. Ces rayons peuvent être considérés comme des rayons *perdus*, pour les distinguer des rayons *utiles*, qui forment l'image que nous employons. Mais il existe encore une troisième catégorie de rayons : avant de sortir de l'instrument, les rayons perdus abandonnent de nouveau une partie de leur lumière par la réflexion sur les différentes surfaces qu'ils rencontrent. Cette lumière sort de l'instrument du côté de l'oculaire, et peut ainsi entrer dans l'œil de l'observateur, où elle est souvent une cause de gêne. Je désigne cette lumière comme *nuisible*.

Digitized by Google

Même sur une simple lentille on peut observer des images formées par ces trois catégories de rayons. En mettant une bougie à quelque distance de la lentille, si l'observateur se place du côté de la bougie, il voit deux images catoptriques de la flamme dues aux rayons *perdus;* si, au contraire, il se place à l'opposé, il voit, à côté de l'image *utile,* une petite image pâle, qui est due à deux réflexions successives dans l'intérieur de la lentille, et qui représente, par conséquent, la lumière *nuisible.*

Au moyen de la théorie de Fresnel, on peut facilement calculer l'intensité de ces différents rayons. En prenant pour indice du verre 1,5 et en admettant que l'angle d'incidence soit négligeable, on trouve, pour une simple lentille, la répartition suivante :

	Pour 100.
Lumière utile.....	92
» perdue.....	8
» nuisible.....	$\frac{1}{6}$

Dans les instruments composés, la perte de lumière est beaucoup plus grande et peut même atteindre un tiers de la lumière incidente ou davantage.

Avant d'appliquer ces raisonnements à l'œil humain, faisons quelques remarques sur sa construction optique. La réfraction oculaire se fait au moyen de deux lentilles, la *cornée,* qui est convexe-concave et le *cristallin,* qui est biconvexe. Les deux lentilles sont séparées par l'humeur aqueuse, et le cristallin est séparé de la rétine par le corps vitré, ces deux liquides ayant à peu près le même indice que l'eau. En général, on se figure la réfraction oculaire un peu autrement; on admet que l'indice de la cornée est égal à celui de l'humeur aqueuse, et l'on considère toute la réfraction cornéenne comme ayant lieu à la surface antérieure de la membrane. Quoique l'erreur que l'on commet ainsi n'est pas très grande, on a pourtant tort de négliger complètement la différence d'indice entre la cornée et l'humeur aqueuse, car elle est en réalité assez considérable. L'expérience suivante me l'a montré. Pour un autre but, j'avais besoin de faire disparaître l'image catoptrique de la surface antérieure de la cornée. Je plongeais donc l'œil que je voulais examiner, dans une petite cuve remplie d'eau salée, et fermée en avant par un verre plan, pensant faire disparaître ainsi

Digitized by Google

l'image en question; mais elle persistait toujours, et son éclat, quoique fortement affaibli, dépassait encore celui des images cristalliniennes. L'indice de la cornée doit donc différer sensiblement de celui de l'eau. Nous allons pour les raisonnements qui vont suivre, admettre un indice de 1,377 pour la cornée, et de 1,3365 pour l'humeur aqueuse et le corps vitré. Le rayon de la surface antérieure de la cornée est d'environ 8^{mm}, d'après mes recherches, celui de la surface postérieure est d'environ 6^{mm}.

Les rayons de courbure du cristallin mesurent 10^{mm} et 6^{mm}. Son indice est le moins connu de toutes les constantes optiques de l'œil. Helmholtz le mettait à 1,45 et plus tard à 1,44. D'après mes recherches il ne doit guère dépasser 1,42, chiffre que nous admettrons dans la suite.

Nous avons l'habitude en Ophtalmologie d'exprimer la force réfringente d'une surface en dioptries par l'inverse de la distance focale antérieure. On trouve ainsi les chiffres suivants (¹) :

Cornée.

	D.
Surface antérieure	+ 47
» postérieure	— 6

Cristallin.

Surface antérieure	+ 7
» postérieure	+ 10
Total	58

On remarque que le cristallin contribue pour moins d'un tiers à la réfraction totale de l'œil.

Si maintenant, au moyen de ces données, on calcule la répartition de la lumière dans l'œil, on trouve :

	Pour 100.
Lumière utile	97
» perdue	3
» nuisible	0,002

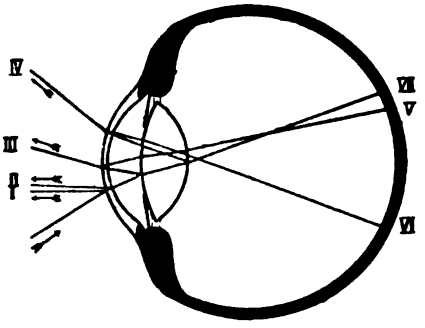
(¹) Pour déterminer la partie de la réfraction qui, dans un système composé, revient à chaque surface, je calcule d'abord la surface réfringente de la première surface, ensuite celle du système composé des deux premières surfaces. La différence entre ces deux chiffres donne la partie de la force réfringente, qui est due à la deuxième surface et ainsi de suite.

Digitized by Google

L'œil est donc à cet égard supérieur à tout instrument d'optique et même à une simple lentille, puisque la perte de lumière n'est que de environ 3 pour 100, et que la lumière nuisible est réduite à un minimum. Mais si faible que soit la partie nuisible, son intensité suffit pourtant pour qu'elle soit visible. On peut s'en persuader par une expérience bien simple, en regardant la flamme d'une bougie à travers un prisme très faible. On voit alors, outre la flamme elle-même, deux images accessoires dont la dernière très pâle. Celle-ci est formée par des rayons qui ont subi quatre réflexions dans l'intérieur du prisme. Leur intensité n'est donc que $\frac{1}{5000}$ pour 100 de celle des rayons incidents. Dans la suite, nous admettrons cette intensité comme la limite de visibilité.

Nous allons maintenant voir ce que devient un rayon lumineux qui entre dans l'œil. Sans parler des rayons, dont l'intensité ne dépasse pas la limite que nous venons d'admettre, le rayon incident finit par se diviser en sept rayons différents, dont quatre perdus et deux nuisibles. Le rayon incident (*fig.* 1) traverse en

Fig. 1.

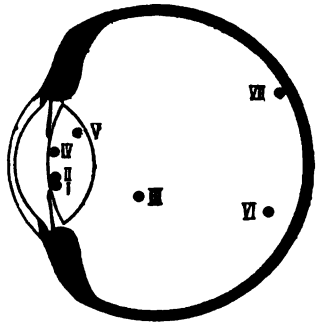


effet les quatre surfaces et vient frapper la rétine en VII comme rayon *utile*. A chaque surface il se fait une réflexion, ce qui produit les quatre rayons perdus (I, II, III, IV). Trois de ces rayons perdus doivent traverser la surface antérieure de la cornée, où ils subissent de nouvelles réflexions. Il se forme ainsi *deux* rayons nuisibles, qui sont dus à une première réflexion, sur l'une des cristalloïdes et une deuxième sur la surface antérieure de la cornée. Le troisième qui serait dû à une double réflexion dans l'intérieur de la cornée est trop faible pour être distingué.

Digitized by Google

D'après ce qui précède, nous devons donc avoir sept images d'un même objet lumineux, dont il faut nous rendre compte. Leur position est indiquée sur la *fig.* 2. L'objet est supposé situé à l'in-

Fig. 2.



fini à 20° en bas. Je n'insisterai pas sur l'image utile, la seule dont on s'occupe habituellement.

Parmi les quatre images, qui sont formées par des rayons perdus, trois sont bien connues sous le nom d'*images* de Purkinje : ce sont les images fournies par la surface antérieure de la cornée et par les deux cristalloïdes. Mais je viens de trouver que la quatrième image, due à la réflexion sur la surface postérieure de la cornée, est visible également.

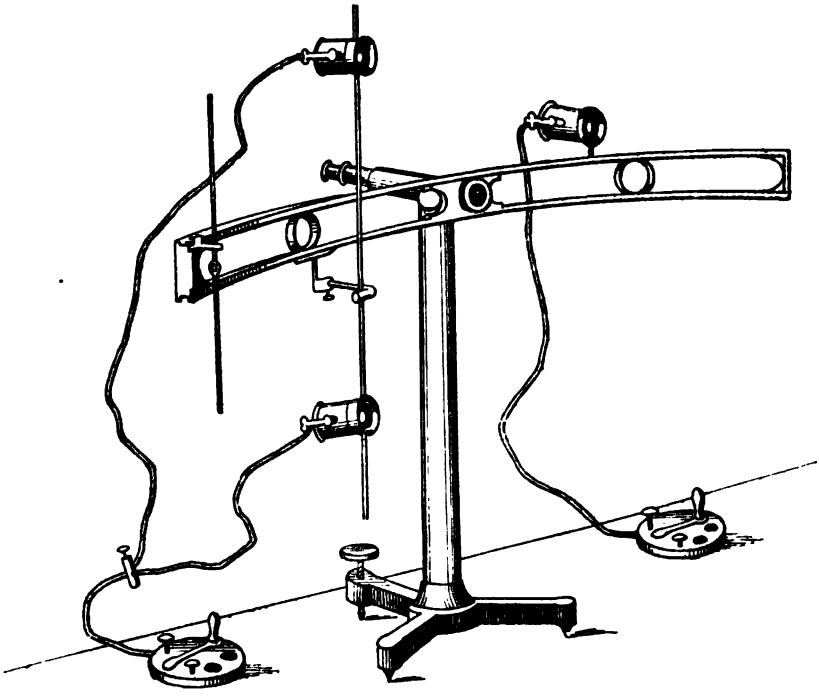
L'histoire de cette image est assez curieuse. Elle fut décrite avec les trois autres au commencement de ce siècle par Purkinje, mais depuis on l'a perdue de vue. C'est ainsi que Helmholtz déclare qu'il s'est donné beaucoup de peine pour la chercher, mais qu'il n'a pas pu la retrouver. La manière la plus simple de l'observer consiste à placer une forte flamme non loin de l'œil qu'on veut examiner et à observer avec soin, au moyen d'une loupe, l'image catoptrique de la surface antérieure de la cornée. On voit alors, dès que cette image se rapproche du bord de la pupille et encore mieux lorsqu'elle le dépasse et vient se trouver devant l'iris, qu'elle est accompagnée d'une petite image pâle, qui suit la grande comme un satellite sa planète et qui se trouve toujours entre la grande image et le milieu de la pupille. Plus les images se rapprochent du bord cornéen, plus elles sont distantes l'une de l'autre. Vers le bord de la cornée la distance peut atteindre 1^{mm}. Au milieu de la pupille,

Digitized by Google

au contraire, les images coïncident et je n'ai pas réussi à les séparer à cet endroit.

La petite image est assez nette pour qu'on puisse l'employer pour mesurer la courbure de la surface. J'emploie à ce but un instrument que j'ai fait construire pour mesurer la courbure du cristallin, et auquel j'ai donné le nom d'*ophtalmophakomètre* (*fig.* 3). Il est

Fig. 3.



composé d'une petite lunette et d'un grand arc de cercle en cuivre, fixé sur la lunette et mobile autour de son axe. La place de l'œil observé est au centre de l'arc, qui se trouve sur l'axe de la lunette, à 86^{cm} de l'objectif. Les images catoptriques, qui servent pour la mensuration, se produisent au moyen de petites lampes à incandescence, qui glissent sur l'arc.

Au moyen de cet instrument, j'ai pu constater que la surface montre souvent une déformation analogue à celle de la surface antérieure, le méridien vertical étant plus courbe que le méridien

Digitized by Google

horizontal. Cette déformation produit de l'astigmatisme, mais, comme la surface est négative, l'astigmatisme de la surface postérieure contribue en général à compenser celui de la surface antérieure.

L'épaisseur de la cornée, qu'on peut également mesurer au moyen de cette image, est de environ 1^{mm}. Il s'ensuit que le centre de la surface se trouve à 1^{mm} en avant de celui de la surface antérieure. Les deux foyers catoptriques coïncident par conséquent, et c'est là la raison pour laquelle on ne peut pas séparer les images au milieu de la pupille. C'est probablement parce qu'il l'a cherché à cet endroit que Helmholtz ne l'a pas trouvé, car l'image n'est nullement difficile à voir.

Je ne parlerai pas des deux images cristalliniennes, qui sont assez connues. Je ferai seulement remarquer que, tandis que l'image de la cristalloïde postérieure se trouve au même niveau que les deux images cornéennes, c'est-à-dire à peu près au niveau de la pupille, l'image de la cristalloïde antérieure est située considérablement plus en arrière (III, *fig.* 2). Si l'on veut examiner les images de Purkinje au moyen d'un instrument grossissant, il est donc préférable d'employer une lunette, en se plaçant à quelque distance, car il est impossible de mettre toutes les images au point à la fois au moyen d'un microscope.

Quant aux images *nuisibles,* je ferai d'abord remarquer que, les rayons nuisibles étant dirigés vers la rétine, ces images doivent être subjectives.

Je m'étais placé un jour devant l'ophtalmophakomètre, pour démontrer à un confrère, sur mon propre œil, certains changements que subit l'œil pendant l'accommodation, et qui sont passés inaperçus jusqu'à présent. Je regardais l'objectif de la lunette, et la lampe à incandescence, se trouvant à environ 20° de celui-ci, envoyait sa lumière, concentrée par une lentille, vers mon œil. Je me suis alors aperçu d'une lueur blanchâtre, qui se montrait de l'autre côté de la ligne visuelle, placée à peu près symétriquement à la lampe par rapport à celle-ci. Je me suis alors mis à étudier le phénomène, et j'ai trouvé qu'il était formé par des rayons qui ont subi une première réflexion à la cristalloïde postérieure et une deuxième à la surface antérieure de la cornée (VI, *fig.* 1). La manière la plus facile de l'observer consiste du reste à regarder droit devant soi,

Digitized by Google

dans une chambre obscure, tandis qu'on tient une bougie allumée à la main à environ 20^{cm} de la ligne visuelle. En promenant la bougie un peu d'un côté et d'autre, on aperçoit, de l'autre côté de la ligne visuelle, une image pâle de la flamme qui est assez distincte, pour qu'on puisse constater qu'elle est renversée; elle se meut symétriquement à la bougie par rapport à la ligne visuelle.

Les rayons qui forment cette image ont subi en plus de différentes réfractions deux réflexions, une première sur la surface postérieure du cristallin et une deuxième sur la surface antérieure de la cornée. Le système optique qui le forme est donc assez compliqué, mais on peut, au moyen des formules connues, calculer le système simple, qui le remplace. On trouve alors que le foyer de ce système est situé un peu en avant de la rétine, et que l'image est droite. Nous la voyons renversée par la projection en dehors. Les myopes voient souvent l'image difficilement et mal définie, la rétine se trouvant trop loin en arrière; pour la voir nettement il faut, en ce cas, placer la flamme tout près de l'œil ou corriger la myopie.

Après avoir trouvé cette image, j'ai pensé qu'il devait nécessairement en exister une autre due à une première réflexion sur la cristalloïde antérieure et une deuxième sur la surface antérieure de la cornée. J'ai aussi pu constater sa présence dans un œil artificiel, mais je n'ai pas pu la trouver dans l'œil humain. En calculant son système optique, on en découvre du reste facilement la raison. Le foyer se trouve en effet près de la cristalloïde postérieure (V, *fig.* 2) et l'on conçoit que la lumière, déjà faible, doit être tellement dispersée, avant d'arriver à la rétine, qu'on ne puisse pas la distinguer. Pour que l'image se forme sur la rétine, l'objet doit se trouver entre la cornée et la cristalloïde antérieure, mais si, par des moyens optiques, on essaye de former un point lumineux à cet endroit, les rayons utiles remplissent l'œil de manière qu'on ne peut pas apercevoir autre chose.

Pour celui qui se sert d'un instrument d'optique, les images accessoires ne sont d'aucune utilité, quelquefois même une cause de gêne. Pour le constructeur, au contraire, elles ont une grande importance; les opticiens s'en servent pour juger le degré de polissage des surfaces, le centrage des lentilles, etc. Il en est de même pour l'œil : pour la vision, ces images ne sont d'aucune utilité, mais

Digitized by Google

pour la physiologie de l'œil elles jouent un grand rôle. Les nouvelles images dont je viens de constater l'existence peuvent ainsi servir à résoudre différentes questions concernant l'optique physiologique, auxquelles je reviendrai à une autre occasion.

SÉANCE DU 4 NOVEMBRE 1892.

Présidence de M. Violle.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 juillet est lu et adopté.

M. le Président annonce l'envoi d'une lettre de M. *Casalonga* relative à sa Communication du 15 juillet dernier.

M. le Secrétaire général signale, parmi les pièces de la Correspondance, les deux notes suivantes de M. E. Delaurier : 1° *Étude sur les causes de l'attraction universelle ;* 2° *Recherches sur les combinaisons optiques et photographiques qui, avec les instruments actuels, peuvent servir pour observer notre satellite avec le plus fort grossissement possible.*

M. Raveau communique les recherches de M. Mathias, *Sur la densité critique et le théorème des états correspondants.*

D'un ensemble important de résultats expérimentaux publiés récemment par M. Sidney Young, dans le *Philosophical Magazine,* M. Mathias a déduit des vérifications nouvelles et très étendues de deux lois qu'il avait énoncées antérieurement :

1° La loi du *tiers de la densité,* d'après laquelle le triple de la densité critique est une limite supérieure de la densité que peut prendre un corps à l'état liquide. Tous les corps étudiés par M. Young obéissent à cette loi, sauf le tétrachlorure d'étain, qui d'ailleurs s'en écarte fort peu.

2° La loi du *diamètre rectiligne.* Le diamètre de la courbe qui représente, en fonction de la température, les densités du liquide et de la vapeur sous pression de saturation est rectiligne pour les composés monosubstitués de la benzine (pour la benzine fluorée, la loi est vraie jusqu'à 300° du point critique). Pour les alcools (méthylique, éthylique, propylique) le diamètre se courbe légèrement à une température très éloignée de la température critique.

La même loi est vérifiée si l'on rapporte les diamètres, non plus aux températures correspondantes, mais aux *pressions correspondantes.*

A la température critique, les deux diamètres ainsi définis pour chaque corps ont des ordonnées très sensiblement égales ; cette valeur commune

Digitized by Google

est la *densité critique*, qu'on obtient ainsi avec une très grande précision. La détermination expérimentale directe donne des nombres qui peuvent s'éloigner beaucoup de la vérité (de 16 pour 100 pour la benzine fluorée).

Cette erreur s'est reportée sur tous les nombres que M. Young a déduits de l'application du théorème des états correspondants et dont le rapport aux nombres exacts varie entre 1,12 et 1,18.

Les densités critiques ainsi calculées pour les trois alcools sont *égales;* la loi semble se généraliser pour tous les homologues supérieurs, pour lesquels on ne peut malheureusement calculer que des valeurs approchées de la densité critique.

La comparaison des densités critiques obtenues par la méthode du diamètre à celles qu'on déduit de la formule de M. Ph.-A. Guye montre que cette formule n'est pas rigoureuse.

De la loi du diamètre rectiligne découlent plusieurs conséquences :

1° La température à laquelle la densité du liquide serait égale au triple de la densité critique est sensiblement la moitié de la température critique (absolue); mais ce n'est là qu'une relation approchée, car certains corps ne se solidifient qu'à une température notablement inférieure à celle qu'indique la règle précédente, tandis que d'autres se solidifient à une température un peu plus élevée.

2° Le coefficient angulaire a du diamètre (dans l'équation réduite) est toujours très voisin de 1; il en résulte que, si l'on connaît la température critique d'un corps et sa densité δ prise à une température réduite m, sa densité critique sera donnée par la formule

$$\Delta = \frac{\delta}{2(2-m)}.$$

3° La comparaison des valeurs de a montre que les corps se rangent en deux groupes : pour l'un, qui comprend la benzine et les composés monosubstitués, le coefficient est très voisin de 0,95; pour l'autre, dans laquelle se placent les trois alcools, a se rapproche de 1,05. Dans chacun de ces deux groupes, le théorème des états correspondants est satisfait; d'autre part, les nombres de M. Young montrent que les densités de *liquides* satisfont aussi au théorème. Qu'en résultera-t-il pour les densités de vapeur? Si l'on compare deux corps de groupes différents, les faibles écarts qui existent entre les valeurs des ordonnées réduites du diamètre se reporteront tout entières sur les densités de vapeur, dont les valeurs absolues sont très faibles; le rapport de ces densités pourra varier entre des limites très étendues. Cette remarque, tout en limitant l'applicabilité du théorème des états correspondants, prouve que ses vérifications expérimentales sont loin d'être aussi grossières dans l'ensemble que le pense M. Young.

Sur la détermination du poids moléculaire au point critique; par M. Ph.-A. Guye. — L'auteur fait remarquer qu'il a eu garde d'employer,

Digitized by Google

pour calculer les densités critiques exactes, la formule qu'il a donnée pour déterminer le poids moléculaire d'un corps au point critique. Cette formule n'a été établie que pour calculer, au moyen des éléments du point critique, un certain nombre d que l'on compare avec la valeur M : 28,87. Cette dernière variant comme les nombres 1, 2, 3, ..., suivant que la molécule est simple, double, triple, etc., il n'est pas nécessaire d'avoir ce nombre d avec une bien grande précision pour obtenir le résultat cherché.

Si l'avenir démontre que les densités critiques, calculées par la méthode des diamètres, méritent plus de confiance que celles observées directement (dont elles diffèrent parfois notablement), il conviendrait seulement de modifier la valeur des constantes numériques entrant dans la formule qui conserverait toute sa portée.

Recherches expérimentales sur la chute des corps et la résistance de l'air; par MM. Cailletet et Colardeau. — Dans les expériences faites jusqu'ici sur la chute libre des corps pesants, on a cherché à éliminer, autant que possible, la résistance que l'air oppose à leur mouvement. Cependant l'étude de cette résistance offre un grand intérêt théorique et pratique : elle intervient, en effet, dans un grand nombre de circonstances (Résistance de l'air aux trains de chemin de fer et navires en marche, direction des ballons, questions relatives à l'aviation, influence du vent sur les constructions, emploi du vent comme moteur, etc.).

MM. Cailletet et Colardeau ont profité des conditions particulièrement avantageuses que leur offrait la tour Eiffel pour l'étude du mouvement rectiligne de chute des corps dans l'air.

Pour déterminer la loi du mouvement du corps qui tombe, ils fixent ce mobile à l'extrémité d'un fil fin et léger divisé en sections de 20^m enroulées séparément sur des cônes fixes présentant leur pointe en bas. Quand le mobile tombe, le fil se déroule avec la plus grande facilité et, pour ainsi dire, sans frottement, à cause de la forme conique des bobines. Quand chaque longueur de 20^m est déroulée, un contact électrique l'enregistre sur un cylindre tournant. En même temps, un diapason inscrit sur ce cylindre, par ses vibrations, chaque centième de seconde écoulé pendant la chute. On mesure donc ainsi au bout de quels intervalles de temps le mobile a parcouru des espaces de 20^m, 40^m, 60^m, etc.

Des mesures directes sur la durée de la chute d'un même mobile lorsqu'il est entièrement libre ou lorsqu'il entraîne le fil avec lui, ont montré que la résistance due au déroulement du fil, à son frottement dans l'air et au fonctionnement des contacts électriques est très faible; et que, par suite, l'emploi du dispositif précédent doit donner des résultats exacts.

MM. Cailletet et Colardeau ont vérifié, dans leurs expériences, que des plans de même surface tombant dans l'air éprouvent la même résistance, quelle que soit leur forme. Cette résistance est proportionnelle à la surface du plan et semble varier plus rapidement que le carré de la vitesse, comme on l'admettait généralement jusqu'ici. En effet, la formule $P = KV^2$, dans laquelle P représente la pression de l'air en kilogrammes par mètre

Digitized by Google

carré sur le plan, V la vitesse en mètres par seconde et K un coefficient numérique, donne pour ce coefficient k, déterminé par le rapport $\frac{P}{V^2}$, un nombre variable avec la vitesse V et tendant à augmenter avec celle-ci. La valeur de K obtenue pour une vitesse de 25^m environ par seconde est 0,071.

Pour établir la loi de variation de ce coefficient avec la vitesse, un grand nombre d'expériences est nécessaire. Les auteurs continuent leurs recherches à ce sujet et soumettent à la même étude des mobiles d'autres formes pour lesquels il sera intéressant de connaître la résistance de l'air.

Sur la densité critique et le théorème des états correspondants;

par M. E. Mathias [1].

Si l'on porte en ordonnées les deux sortes de densités d'un corps (liquide et vapeur saturée) et en abscisses les températures, les deux courbes obtenues se raccordent à la température critique; l'ensemble forme une courbe unique, telle que le lieu des milieux des cordes parallèles à l'axe des ordonnées est une *droite*.

Ce résultat, annoncé par MM. Cailletet et Mathias [2], vérifié sur l'acide sulfureux dans un intervalle de 156°, a été confirmé récemment par M. Amagat [3]. Mais, sauf pour l'acide sulfureux, la vérification n'a porté que sur des intervalles de température peu étendus (30° à 60°), et l'on peut craindre que le diamètre rectiligne ne soit qu'une *approximation*.

D'autre part, si l'on pose avec M. Van der Waals

$$p = \varepsilon\pi, \qquad v = n\varphi, \qquad T = 273 + t = m\theta,$$

l'*isotherme réduite* (1), que l'on déduit de son équation des

---

(1) Le Mémoire détaillé est inséré dans les *Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse* pour 1892.

(2) Cailletet et Mathias, *Journ. de Phys.* [2], 1886 et 1887.

(3) Amagat, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. CXIV, février 1892.

Digitized by Google

fluides

$$(1) \qquad \left(\varepsilon + \frac{3}{n^2}\right)(3n - 1) = 8m,$$

montre que, à la limite de l'état liquide (m voisin de zéro), n est voisin de $\frac{1}{3}$ pour l'état liquide, et indéfiniment grand pour la vapeur saturée ([1]); c'est ce que Ziloff paraît avoir remarqué le premier ([2]) sans y avoir, d'ailleurs, non plus que Nadejdin ([3]), attaché d'importance. Il s'ensuit que la densité d'un liquide doit tendre vers le triple de la densité critique quand on s'éloigne le plus possible de la température critique, et j'ai montré dans un Mémoire antérieur ([4]) qu'il paraît en être ainsi, *bien que l'équation des fluides de M. Van der Waals, et, par suite, l'isotherme réduite qui en est la conséquence, ne représentent pas du tout l'état liquide pour m voisin de zéro.*

1. Les récentes expériences de M. Sydney Young ([5]) permettent de donner de la *loi du diamètre rectiligne* une démonstration définitive, puisqu'il s'agit des corps les plus divers, au nombre de *douze,* et que les intervalles de température atteignent 300° et même 325° (*benzine monochlorée*).

J'ai, au moyen des *volumes spécifiques moléculaires* donnés par M. Young, calculé la demi-somme des densités ([6]) pour chaque corps à un grand nombre de températures; puis j'ai déterminé le diamètre par deux points ([7]) et j'ai comparé les ordonnées observées et calculées.

Le Tableau suivant donne cette vérification pour six des corps étudiés par M. Young. Les températures absolues de la première

---

([1]) M. Van der Waals a montré qu'on tire le même résultat de l'équation des fluides de Clausius, moyennant une légère modification dans le changement de variables, et j'ai montré moi-même (*Journ. de Phys.*, 1891) qu'il en était de même avec une équation plus générale que celle de Clausius.

([2]) Ziloff, *Journ. de la Soc. Phys. Chim. Russe,* t. XIV, p. 169.

([3]) Nadejdin, *Exner Repertorium*, t. XXIII, p. 713; 1887.

([4]) Mathias, *Journ. de Phys.*, 3e série, t. I, année 1892, p. 53.

([5]) Sydney Young, *Phil. Mag.* [5], t. XXXIII; février 1892.

([6]) Rapportées à l'eau à 4°, ou mieux, au gramme.

([7]) Il serait préférable de déterminer le diamètre rectiligne par la méthode des moindres carrés et en faisant usage de toutes les expériences; c'eût été trop pénible dans le cas présent.

Digitized by Google

colonne sont relatives à la *benzine monofluorée;* les nombres de chaque couple de lignes horizontales, pour les autres corps, se rapportent à des températures correspondantes. Θ et Δ désignent la température absolue et la densité critiques.

T.		Benzine.	Benzine monofluorée.	Acide acétique.	Chlorure d'étain.	Tétrachlorure de carbone.	Alcool éthylique.
272,25	obs.	0,4500	0,5237	0,5265	1,1199	»	»
	calc.	Admis.	0,5218	0,5295	Admis.	»	»
289,3	obs.	0,4410	0,5136	0,5173	1,0967	0,80251	»
	calc.	0,4414	0,5120	0,5192	1,0974	Admis.	»
320,25	obs.	0,4253	0,4948	0,4992	1,0549	0,7734	0,3937
	calc.	0,4256	0,4939	0,4998	1,0566	0,7743	0,4019
410,4	obs.	0,3785	0,44157	0,44413	0,93515	0,6895	0,3559
	calc.	0,3799	Admis.	Admis.	0,9378	0,6923	Admis.
460,4	obs.	0,3534	0,4119	0,4142	0,8707	0,6457	0,3309
	calc.	0,3545	0,4125	0,4132	0,8719	0,6468	0,3304
519,7	obs.	0,32405	0,3776	0,3761	0,7937	0,5922	0,2997
	calc.	Admis.	Admis.	Admis.	Admis.	Admis.	Admis.
550,0	obs.	0,3092	0,3598	0,3563	»	0,5660	0,2811
	calc.	0,3088	0,3601	0,3576	»	0,5649	0,2844
Θ=559,55	Δ...	0,3037	0,3543	0,3514	0,7413	0,5558	0,2793

La vérification de la loi du diamètre est pour ainsi dire absolue pour tous les corps étudiés; cependant, les trois alcools méthylique, éthylique et propylique donnent, à la température la plus basse des expériences (*voir* les Tableaux VII et IX du Mémoire de M. Young) une différence moyenne d'un peu plus de 2 pour 100 entre les nombres observés et calculés (¹); la vérification est parfaite dans un intervalle d'environ 180° à partir de la température critique.

Les physiciens qui se sont occupés récemment de la détermination expérimentale des deux sortes de densités, MM. Battelli, Amagat et Young, ont conclu à l'existence d'une limite commune pour les deux densités à la température critique; d'après la loi du diamètre, il s'ensuit nécessairement que la densité critique est égale à l'ordonnée du diamètre qui correspond à la température critique, comme l'ont indiqué MM. Cailletet et Mathias (mai

(¹) L'eau présente également le cas d'un diamètre curviligne.

Digitized by Google

1886). Les nombres Δ de la dernière ligne horizontale du Tableau précédent sont donc les *densités critiques* des corps étudiés.

2. Si les équations de Van der Waals ou de Clausius, qui relient l'état liquide à l'état gazeux, étaient rigoureuses, il n'y aurait aucune différence à comparer les deux sortes de densités des corps à des *températures correspondantes* ou à des *pressions correspondantes;* il n'y aurait, en effet, dans $f(p, v, t) = 0$, qu'un simple changement de variables. Mais il n'en est pas ainsi et, d'après M. S. Young (¹), il est nécessaire de comparer les substances différentes non seulement à des *températures correspondantes,* mais aussi à des *pressions correspondantes.* Il ressort même du travail de ce physicien que, dans cette seconde manière de voir, la comparabilité des corps est plus grande, particulièrement en ce qui concerne la densité de la vapeur saturée.

Je me suis donc proposé de chercher si le diamètre des densités, comparées à des pressions correspondantes, est rectiligne. La *benzine monofluorée* étant toujours le terme de comparaison, j'ai calculé (²) les densités des corps sous des pressions qui correspondent à celles de la vapeur saturée de C^6H^5Fl aux températures marquées dans le Tableau précédent.

Comme précédemment, j'ai déterminé les diamètres par deux points (³). J'ai constaté que ces nouveaux diamètres sont rectilignes dans toute leur longueur, sauf pour les alcools, et qu'ils sont nettement différents des précédents quoique souvent très voisins d'eux. D'après la manière même dont le calcul du diamètre relatif aux pressions correspondantes est fait, il est évident que pour la *benzine monofluorée* les deux sortes de diamètres coïncident. L'ordonnée du diamètre de seconde espèce correspondant à la pression critique fournit une nouvelle valeur de la densité critique Δ. Si cette quantité physique est bien déterminée, les deux valeurs de Δ doivent coïncider; c'est ce qui se vérifie de la

(¹) S. Young, *loco citato,* p. 155.

(²) D'après les Tableaux VI et VIII du Mémoire de M. Young.

(³) Ces deux points correspondent à deux pressions de la *benzine monofluorée*. et le Tableau IV du Mémoire de M. Young me donnait les points d'ébullition du corps sous des pressions correspondantes; le diamètre était ainsi déterminé en fonction de la température.

Digitized by Google

façon la plus remarquable. La moyenne de ces deux valeurs fournit donc, à un très haut degré d'approximation, la valeur de la densité critique.

3. *Propriétés de la densité critique.* — I. Les expériences de M. S. Young fournissent une très belle vérification de la règle du *tiers de la densité,* comme le montre ce Tableau, dans lequel les densités critiques Δ sont les moyennes des nombres obtenus par les deux sortes de diamètres :

Corps.	Δ.	Tiers de la densité à t°.	t°.
C^6H^6	0,3038	0,3000	0
C^6H^5Fl	0,3543	0,3491	— 0,75
C^6H^5Cl	0,3665	0,3635	+35
C^6H^5Br.....	0,4860	0,4836	+53
C^6H^5I.....	0,5843	0,5808	+77,8
$CH^3.OH$	0,2775	0,274	0
$C^2H^5.OH$	0,2786	0,269	0
$C^3H^7.OH$	0,2777	0,2733	0
$(C^2H^5)^2O$.....	0,2631	0,2453	0
$CH^3.COOH$	0,3516	0,3510	+16,3
CCl^4.....	0,5557	0,5440	0
$SnCl^4$.....	0,7414	0,7465	+14,9

Pour les trois alcools et l'éther, la densité du liquide n'est pas prise assez loin de la température critique pour que la vérification précise de la règle du *tiers de la densité* soit possible. Nous verrons, dans la suite de ce travail, une formule très simple qui s'applique à ce cas et permet le calcul très approché de Δ.

II. La méthode des deux diamètres, appliquée aux trois premiers alcools, donne pour leurs densités critiques *six* valeurs qui ne diffèrent de leur moyenne générale 0,2780 que de quantités très inférieures aux erreurs d'observation. Par suite, il est permis d'en conclure que les trois alcools ont *même densité critique.*

Ce résultat se généralise de la façon la plus remarquable, et l'on peut dire que : « *tous les alcools saturés, homologues de l'alcool méthylique, ont même densité critique, qu'ils soient normaux, primaires, secondaires ou tertiaires.* »

Digitized by Google

L'application de la règle du tiers de la densité (¹) démontre cette proposition de la manière la plus nette pour *vingt et un* homologues supérieurs de l'alcool éthylique.

La signification physique de ce fait est très simple; en effet, d'après la règle du tiers de la densité, les alcools saturés, pour des températures de plus en plus basses, doivent avoir des densités de liquide sensiblement identiques, ce que l'expérience vérifie.

L'observation précédente ne s'étend pas à toutes les séries homologues; il semble au contraire qu'elle constitue un cas très particulier. En effet, si l'on considère le bromure de méthyle et ses homologues supérieurs, la densité du liquide (prise à la température la plus basse), et par suite la densité critique, diminuent très régulièrement et très rapidement à mesure que le poids de la molécule augmente.

4. *Propriété des diamètres.* — I. Dans ce qui suit, je m'occuperai exclusivement des diamètres relatifs aux températures correspondantes.

Soit y l'ordonnée d'un diamètre, α son coefficient angulaire.

(¹) La densité des liquides, telle qu'elle s'introduit dans les équations de la Thermodynamique, est *la densité du liquide sous la pression de la vapeur saturée.* Dans ces conditions, l'état liquide est parfaitement défini par la température *seule,* abstraction faite du cas où le liquide est dans un tube capillaire.

Au contraire, la densité des liquides ordinaires qui se trouve dans tous les Traités de Physique et de Chimie, et dont je me suis servi pour calculer d'une manière approchée la densité critique, est la densité du liquide *pris sous la pression de l'atmosphère.* Or, en général, la pression de vapeur saturée des liquides ordinaires est beaucoup plus faible que la pression atmosphérique; il s'ensuit que la plupart des liquides étudiés en Physique sont des *liquides comprimés.* Cette remarque s'applique d'ailleurs à l'eau, dont le maximum de densité *réel* est plus élevé de quelques millièmes de degré que le maximum *apparent* fixé en général à $+4^{\circ}$. Par suite, la densité maxima de l'eau est abaissée d'une manière sensible. Aujourd'hui que le gramme est *défini* par le *kilogramme* des Archives ou plutôt par la copie qui en a été faite par le *Bureau international des Poids et Mesures,* la remarque précédente n'a pas d'application. Si, comme autrefois, l'unité de poids était définie par le poids d'un centimètre cube d'eau à son maximum de densité, il serait *rationnel* de compléter la définition et d'ajouter que l'eau est prise *sous la pression de sa vapeur saturée.* L'unité de poids serait ainsi abaissée d'environ $\frac{1}{20000}$, et les densités des liquides ordinaires, *rapportées à la pression de la vapeur saturée,* devraient subir une double correction du même ordre de grandeur.

Digitized by Google

$T = m\Theta$ la température absolue, Δ la densité critique; on a

$$y = \Delta - \alpha(\Theta - T) = \Delta - \alpha\Theta(1 - m),$$

d'où

$$y = \Delta[1 + a(1 - m)], \tag{2}$$

en posant

$$a = -\frac{\alpha\Theta}{\Delta}. \tag{3}$$

Or j'ai montré dans un travail précédent [1], et les nombres de M. S. Young vérifient également, que, dans un intervalle d'environ 60° au-dessous de la température critique, les deux sortes de densités obéissent au *théorème des états correspondants* [2]; les diamètres rectilignes doivent donc aussi lui obéir, au moins dans les mêmes limites.

Pour qu'il en soit ainsi, il est nécessaire et suffisant que, dans l'équation (2), a soit une constante. Dans le Tableau suivant, je donne ce coefficient calculé d'après les expériences très précises de M. S. Young.

Corps.	Expérimentateurs.	a.
C^6H^6.....	S. Young.	0,9359
C^6H^5Fl.....	Id.	0,9165
C^6H^5Cl.....	Id.	0,9557
C^6H^5Br.....	Id.	0,9639
C^6H^5I.....	Id.	0,9572
$(C^2H^5)^2O$.....	Id.	0,9600
$CH^3.COOH$....	Id.	0,9647
$SnCl^4$.....	Id.	0,9945
CCl^4.....	Id.	0,9181
Moyenne générale.....		$a = 0,9518$

Excepté la benzine monofluorée, le chlorure d'étain et le tétrachlorure de carbone, la concordance des valeurs de a est très remarquable. Par suite, le théorème de M. Van der Waals s'applique aux diamètres précédents dont l'équation est alors

$$y = \Delta[1 + 0,950(1 - m)]. \tag{2'}$$

---

(1) E. Mathias, *Journ. de Phys.* [3], février 1892, et *Ann. de Toulouse*, 1891.

(2) D'après les expériences de M. S. Young, ce théorème est particulièrement exact pour les densités de liquides.

Digitized by Google

La différence de 3 pour 100 par rapport à la moyenne donnée par la benzine monofluorée et le tétrachlorure de carbone n'a que peu d'influence. En effet, à 200° de la température critique, pour ces corps, $(1 - m)$ est sensiblement égal à $\frac{1}{3}$ et l'erreur sur y n'est que de $\frac{1}{130}$.

Quant au chlorure d'étain, il établit la transition entre le *groupe* de corps précédent et le suivant.

Le calcul de a, fait pour la partie rectiligne du diamètre des trois premiers alcools et pour l'acide sulfureux, donne le résultat suivant :

Corps.	Expérimentateurs.	a.
$CH^3.OH$.....	S. Young.	1,0575
$C^2H^5.OH$.....	Id.	1,0234
$C^3H^7.OH$.....	Id.	1,0673
SO^2.....	Cailletet et Mathias.	1,0534

Moyenne générale..... $a = 1,050$.

Ce Tableau montre que les diamètres des trois alcools et de l'acide sulfureux obéissent au théorème de M. Van der Waals, car a est sensiblement constant.

Dans aucun de ces *groupes* ne se rangerait l'acide carbonique : d'après les nombres de MM. Cailletet et Mathias entre — 34° et + 20° et d'après ceux de M. Amagat entre 0° et + 31°,35. En particulier, le diamètre calculé d'après les nombres de M. Amagat donne $a = 0,858$, la densité critique étant 0,464. L'acide chlorhydrique présente un cas analogue, mais avec a sensiblement plus grand que *un*. Il semble donc que la constante a puisse prendre, oscillant autour de l'unité, toute une série de valeurs différentes; mais il est commode, au point de vue des états correspondants, de ranger les corps en *groupes*, caractérisés par des valeurs de a nettement différentes, ce coefficient restant sensiblement constant pour tous les corps d'un même *groupe*.

II. Le coefficient angulaire d'un diamètre rectiligne, exprimé en fonction de la température centigrade $t°$, est, d'après l'équation (3),

$$(4) \qquad \alpha = -a\frac{\Delta}{\theta}.$$

Digitized by Google

Il est donc négatif [1] et, dans chaque groupe de corps où le théorème des états correspondants s'applique (a constant) : *le coefficient angulaire du diamètre est proportionnel à la densité critique et en raison inverse de la température critique absolue.*

Les diamètres les plus inclinés sont donc ceux pour lesquels Θ est petit et Δ grand (cas de l'oxygène); les moins inclinés sont ceux des corps à température critique élevée et à densité critique faible (cas de l'éther et de la benzine).

Cela donne une indication sur la rapidité de la variation des deux sortes de densités, cette variation étant, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle à l'inclinaison du diamètre sur l'axe des abscisses.

III. *Liquides possédant un diamètre rectiligne.* — Soit un corps admettant un diamètre rectiligne jusqu'à la solidification, et passant à l'état solide sans présenter les états pâteux. Soit $X = x\Theta$ la température absolue de fusion ou de solidification (suivant les cas). Appelons $(3+f)\Delta$ la valeur limite qu'atteint la densité δ du liquide à la température X[2]; la densité de vapeur saturée est sensiblement nulle, et l'ordonnée y du diamètre égale $\frac{\delta}{2}$. Portons cette valeur dans l'équation (2) du diamètre rectiligne; m devient x et l'on en tire

$$x = 1 - \frac{1+f}{2a},$$

ou sensiblement

$$x = \frac{1-f}{2}, \tag{5}$$

puisque a est généralement voisin de *un*.

Si l'on connaît la température de fusion ou de solidification et la température critique, x est connu, et l'équation (5) permet de calculer f au moyen de nombres tirés de l'expérience. On a alors

$$f = 1 - 2x. \tag{5'}$$

---

(1) Par suite, dans le même intervalle de températures, la variation absolue de la densité du liquide est toujours plus grande que celle de la vapeur saturée.

(2) Si $f = 0$, la limite de la densité δ du liquide est bien 3Δ, comme le veulent les *isothermes réduites* des différentes équations des fluides (de Van der Waals, de Clausius, etc).

Digitized by Google

Selon la valeur de x, la valeur limite de la densité du liquide peut être supérieure, égale ou inférieure au triple de la densité critique Δ.

Plus exactement, f est donné par la formule

$$(6)'' \qquad f = (2a - 1) - 2ax = 2a(1 - x) - 1,$$

mais cela ne change rien aux conclusions précédentes.

Proposons-nous de calculer f pour un certain nombre de corps; à cause de la perturbation qui affecte le diamètre rectiligne au voisinage de la fusion ou de la solidification, et que nous avons négligée, les valeurs obtenues pour f seront simplement approchées.

1° *Cas où a est connu.*

Corps.	Θ.	a.	Température absolue de solidification.	Température absolue de fusion.	x.	f.
C^6H^6	561°,5	0,9359	»	276°	0,4915	—0,048
C^6H^5F	559,55	0,9165	»	272,2	0,4865	—0,039
C^6H^5Cl	633,0	0,9557	»	233	0,3681	+0,208
C^6H^5Br	670,0	0,9639	<253	»	<0,3776	>+0,200
C^6H^5I	721,0	0,9572	<255	»	<0,3526	>+0,237
CCl^4	556,15	0,9181	248,3	»	0,4464	+0,016
$SnCl^4$	591,7	0,9945	<287,9	»	<0,4865	>+0,021
$(C^2H^5)^2O$ ..	467,4	0,9600	242	»	0,5177	—0,074
$CH^3.COOH$.	594,6	0,9647	289,2	289,2	0,4864	—0,009
CO^2	304,0	0,858	»	216	0,7105	—0,503
SO^2	429,0	1,0534	197	»	0,4592	+0,139

2° *Cas où l'on suppose $a = 1$.*

Corps.	Θ.	Température absolue de solidification.	Température absolue de fusion.	x.	f.
Azote	127°	58°	»	0,4567	+0,087
Hypoazotide	444,2	264	»	0,5943	—0,189
Acide chlorhydrique....	324,2	163	»	0,5028	—0,006
Acide sulfhydrique... .	373,2	187,4	»	0,5021	—0,004
Cyanogène	397,0	»	238,6	0,6010	—0,202
Protoxyde d'azote.....	309,4	»	174	0,5624	—0,125
Sulfure de carbone.....	550	»	163	0,2964	+0,407
Chloroforme.....	537	»	203	0,3780	+0,244
Triméthylcarbinol.....	507,9	»	298	0,5867	—0,173

Digitized by Google

Ces Tableaux donnent la signification exacte de la règle du *tiers de la densité*. Elles montrent qu'elle n'est qu'une relation approchée et qu'elle donne, pour Δ, des valeurs tantôt par défaut (cas de CO^2) et tantôt par excès (cas de $SnCl^4$) (¹). Dans ce dernier cas, probablement le plus fréquent, l'erreur commise sur Δ pourrait être notable si l'on se servait de la densité du liquide à la température de fusion ou de solidification. Le plus souvent le point de fusion est inconnu, la densité correspondante aussi, et l'on ne possède que des δ se rapportant à des températures plus hautes; alors la relation $\Delta = \frac{\delta}{3}$ est plus approchée.

IV. *Liquides ne possédant pas de diamètre rectiligne.* — Nous avons vu que c'était le cas des trois alcools méthylique, éthylique et propylique dont le diamètre est curviligne dans une très grande partie de sa longueur. C'est également le cas de l'eau. Aucune règle ne permet actuellement de prévoir si un corps a ou non un diamètre rectiligne.

5. *Calcul rapide de la densité critique.* — La considération du diamètre rectiligne permet de démontrer très simplement une formule qui donne la densité critique, connaissant Θ et une valeur δ de la densité du liquide telle que la densité de vapeur saturée ne soit pas sensible ($m \leqq 0,7$) (²).

Dans ces conditions on a, à un assez haut degré d'approximation, $\delta = 2y$. Remplaçons l'ordonnée y du diamètre rectiligne par sa valeur tirée de (2). Il vient

$$\delta = 2\Delta[1 + a(1 - m)],$$

d'où

$$\Delta = \frac{\delta}{2[1 + a(1 - m)]}.$$

(¹) Les *isothermes réduites* provenant des équations de Van der Waals ou de Clausius, ou même de l'équation plus générale que j'ai signalée (*Journ. de Phys.* [3], t. I, p. 54; 1892) ne peuvent faire prévoir ce résultat. En effet, pour $n = \frac{1}{3}$ elles donnent toutes $m = 0$ au lieu de m voisin de $\frac{1}{3}$ que donne l'expérience. De plus, pour $n < \frac{1}{3}$ ou $\delta > 3\Delta$, on aurait $m < 0$, ce qui est absurde. Cela montre que les diverses équations des fluides ne représentent plus du tout l'état liquide au voisinage de la solidification.

(²) Pour $m = 0,70$, la densité de vapeur saturée δ' est généralement voisine du *centième* de la densité du liquide δ.

Digitized by Google

Remplaçons a par l'unité, il vient alors la formule approchée

$$(6) \qquad \Delta = \frac{\delta}{2(2-m)}.$$

Cette formule provient, comme on voit, des deux résultats les plus importants de l'étude expérimentale des densités (diamètre rectiligne et a voisin de *un*); on peut donc accorder une grande confiance aux résultats qu'elle fournit (*voir* le Tableau final).

La formule (6), dans les conditions où elle est applicable, est très supérieure, à peine est-il besoin de le dire, à la règle du tiers de la densité dont elle est une généralisation (elle la redonne pour $m = 0,5$); c'est ce que montre le Tableau suivant (¹) :

Corps.	δ.	t°.	$\frac{\delta}{3}$.	$\frac{\delta}{2(2-m)}$.	Δ.
CO^2.....	1,057	— 34	0,352	0,460	0,460
Az^2O.....	1,003	— 20,6	0,334	0,423	0,410
SO^2.....	1,5128	— 30	0,504	0,527	0,520
$(C^2H^5)^2O$.....	0,736	0	0,245	0,259	0,260
Az.....	0,866	—202	0,289	0,299	0,299
CH^4.....	0,415	—164	0,138	0,145	0,143
AzH^3.....	0,6138	+ 16,5	0,204	0,2394	0,2387
O.....	1,0883	—169,5	0,363	0,408	0,405

Il suffit donc de connaître *une* valeur δ de la densité de liquide et la température critique pour avoir, par cela même, une valeur très approchée de la densité critique.

Comme cela se rencontre dans un très grand nombre de cas, on voit qu'il est dès lors possible de calculer Δ pour la plupart des corps, et de faire entrer cette quantité physique dans un Tableau des constantes critiques du genre de celui qui est inséré depuis 1891 dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes,* ou dans les *Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse* de 1891.

La formule (6) donne lieu à une construction graphique extrê-

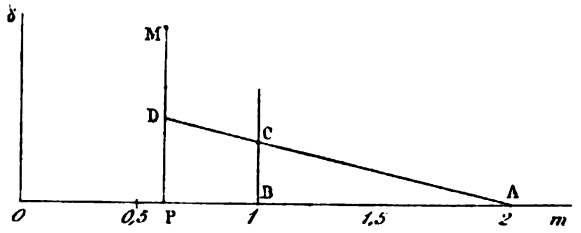
(¹) Qui n'est autre qu'un Tableau tiré de mon précédent Mémoire (*Journ. de Phys.* [3], t. I, p. 55; 1892) complété par la formule (6), mais d'où l'on a retiré l'éthylène et l'acide chlorhydrique auxquels cette formule ne peut s'appliquer vu que la densité de vapeur saturée correspondant à la densité du liquide n'est pas négligeable.

Digitized by Google

mement simple. Soit M le point représentatif de la densité de liquide δ lorsque l'abscisse est m.

Joignons le milieu D de MP au point A dont l'abscisse est $m = 2$; AD *est le diamètre* et l'ordonnée BC correspondant à $m = 1$ *est la densité critique* Δ, au degré d'approximation de la formule bien entendu.

Fig. 1.



Aux deux moyens précédents de calculer Δ connaissant Θ et δ, on doit ajouter celui qui repose sur la formule empirique

$$\delta = A(m - 0,569 + 1,66\sqrt{1-m}),$$

pour laquelle je renvoie le lecteur à mon Mémoire précédent (*Journal de Physique*, 1891). Les densités de liquides tirées du Mémoire de M. Young, à l'exception des alcools, la vérifient très bien lorsqu'on donne à la constante A des valeurs convenables qui se trouvent être rigoureusement proportionnelles aux densités critiques, comme le veut le théorème des *états correspondants*. On a, en moyenne,

$$\delta = 2,345\Delta(m - 0,569 + 1,66\sqrt{1-m}).$$

Connaissant δ et m, cette formule, pour m compris entre 0,8 et $1 - \varepsilon$, fera en général connaître Δ à moins de $\frac{1}{100}$; par suite, elle complète la formule (6) qui s'applique aux valeurs de m inférieures à 0,7 [1].

---

[1] Il suffit également de connaître une valeur de la densité de vapeur saturée δ' et la valeur de m correspondante (m compris entre 0,85 et $1 - \varepsilon$) pour qu'il soit possible de calculer Δ par la formule connue

$$\delta' = A'(1 - m - 1,124\sqrt{1-m} + \overline{0,579}^2).$$

Malheureusement le rapport $\frac{A'}{\Delta}$, tout en oscillant autour de 2,60, varie dans de

Digitized by Google

Aux méthodes de calcul précédentes, il convient de joindre le théorème des *états correspondants,* dont l'emploi est précisé par ce qui suit, et la formule empirique de M. Ph.-A. Guye

$$(7) \qquad 1146 \frac{\Delta\Theta}{\pi(1070+\Theta)} = \frac{M}{28.87},$$

dans laquelle M est le poids moléculaire, Δ, Θ et π la densité, la température absolue et la pression critiques.

Cette formule a l'inconvénient d'introduire dans le calcul de Δ un trop grand nombre de quantités, Θ, π, M, de sorte que les erreurs commises sur chacune d'elles s'ajoutent dans le calcul de Δ. Les résultats que donne cette formule, comparés à ceux que donne la méthode si précise des deux diamètres, montrent que la formule de M. Ph.-A. Guye est insuffisante. Elle peut conduire à des valeurs inexactes par défaut ou par excès de plus de 16 pour 100 (²).

6. *Détermination directe de la densité critique.* — De même, les nombres que l'on déduit de la détermination expérimentale directe des *volumes critiques* peuvent s'éloigner beaucoup de la vérité, tantôt dans un sens et tantôt dans un autre; ainsi, le volume critique de la *benzine monofluorée,* déterminé avec le plus grand soin par M. S. Young, est trop petit d'environ 16,5 pour 100.

Cette erreur s'est reportée sur tous les volumes critiques que M. Young a déduits de l'application du théorème des états correspondants et dont le rapport aux nombres exacts varie entre 1,12

---

trop larges limites pour qu'on puisse accorder la même confiance à cette formule qu'à celle qui représente l'état liquide. L'erreur sur Δ peut s'élever jusqu'à 4 pour 100.

(¹) Ph.-A. Guye, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences,* t. CXII, 1891 et *Thèse de Doctorat*, p. 129 à 134.

(²) Il est juste de reconnaître que la formule (7) n'a pas été donnée comme permettant de calculer la densité critique Δ, connaissant Θ, π et M. Par la comparaison des deux nombres de l'égalité (7), selon qu'ils sont sensiblement égaux, ou doubles ou triples l'un de l'autre, M. Guye en conclut que la molécule est restée, au point critique, la même qu'à l'état ordinaire, ou qu'elle s'est doublée, triplée, etc. Pour cet objet, très important, la formule de M. Guye reste valable, et il n'est pas besoin qu'elle soit une relation rigoureusement exacte entre Δ, Θ, π et M. Il serait, cependant, intéressant de voir si, avec des valeurs différentes des constantes numériques, elle pourrait remplir les deux buts à la fois.

Digitized by Google

et 1,18. On voit par là qu'il est difficile, sinon impossible de déterminer directement et avec précision la densité critique, conclusion à laquelle je suis arrivé dans mon précédent Mémoire. Au contraire, la méthode du diamètre fournit, même appliquée à une grande distance de la température critique, des valeurs précises de la densité critique, parce que, le coefficient angulaire du diamètre étant toujours très faible, une erreur de 1° sur la température critique donne une erreur négligeable et sûrement plus petite que les erreurs d'observation. La détermination indirecte de la densité critique est donc très supérieure à sa détermination directe.

7. *Remarque sur le théorème des états correspondants.* — La comparaison des valeurs de a montre que les corps étudiés par M. Young se rangent en deux groupes; pour l'un, a est très voisin de 0,95, pour l'autre, a se rapproche de 1,05. Dans chacun de ces deux groupes, le théorème des états correspondants est satisfait, d'une façon presque rigoureuse pour le liquide, d'une façon très satisfaisante pour la vapeur saturée tant qu'on n'est pas très loin de la température critique. Si l'on compare deux corps de groupes différents, le théorème de M. Van der Waals, encore vrai pour le liquide, ne l'est plus pour la vapeur saturée, à moins qu'on ne soit très près de la température critique.

Il en résulte que le théorème des états correspondants doit s'appliquer, non pas à tous les corps pris en bloc, mais qu'il faut les ranger en groupes, le théorème conservant sa valeur dans chaque groupe. Cette remarque, tout en limitant l'applicabilité du théorème des états correspondants, prouve que ses vérifications expérimentales sont loin d'être aussi grossières dans l'ensemble que le pense M. Young.

8. *Densités critiques nouvelles.* — Voici, à titre de renseignement, un certain nombre de densités critiques nouvelles calculées soit par la règle du *tiers de la densité,* soit par la formule (6), qui permettent d'utiliser (si l'on peut s'exprimer ainsi) les densités de liquides dispersées dans le *Dictionnaire de Würtz* et ses suppléments, et restées jusqu'ici sans application physique et sans lien.

Digitized by Google

Corps.	δ.	t°.	$\frac{\delta}{3} = \Delta$.	$\frac{\delta}{2(2-m)} = \Delta$.	
Sulfure de carbone	1,293	0°	0,431	0,430	0,430
Id.	1,271	+ 15	»	0,428	
Chlore	1,33 env.	?	0,443	»	
Brome (1)	3,187	0	1,062	»	
Iode (solide)	4,948	+ 17	1,649	»	
Éthylamine	0,6964	+ 8	»	0,253	
Propylamine (2)	0,7283	0	»	0,252	0,253
Id.	0,7134	+ 21	»	0,254	
Trichlorure de phosphore	1,612	0	0,537	0,534	
Hypoazotide	1,5035	— 5	»	0,539	
Id.	1,488	+ 5	»	0,541	0,542
Id.	1,474	+ 15	»	0,545	
Eau	1	+ 4	0,333	»	
Id.	0,9400	+124,1	»	0,341	0,342
Id.	0,8816	+185,5	»	0,344	
Id.	0,8661	+200	»	0,344	
Isopentane	0,6385	+ 14,2	»	0,230	
Id.	0,636	+ 17	»	0,230	
Hexane normal	0,663	+ 17	»	0,229	
Isobutyle	0,635	— 10	»	0,230	
Amylène ordinaire (3)	0,678	0		0,238	
Isoamylène (4)	0,670	0	»	0,237	
Octylène normal	0,7217	+ 17	0,240	0,2417	
Diallyle	0,684	+ 14	»	0,238	0,239
Id.	0,6456	+ 58	»	0,2395	
Dibutyle	0,7057	0	»	0,2355	0,236
Id.	0,694	+ 18	»	0,237	
Toluène	0,8841	0	0,295	0,287	
Thiophène	1,062	+ 23	0,354	0,354	
Chlorure de méthyle	0,9523	0	»	0,3549	
Id.	0,9283	+ 13	»	0,3543	0,354
Id.	0,9197	+ 17	»	0,3536	
Chlorure de méthylène	1,3604	0	»	0,462	
Chloroforme	1,480	+ 18	»	0,507	
Chlorure d'éthyle	0,920		»	0,328	

(1) La densité critique du brome est sensiblement la moyenne arithmétique de celles du chlore et de l'iode.

(2) La propylamine a exactement la même densité critique que l'éthylamine, son homologue inférieur.

(3) Ou triméthyléthylène.

(4) Ou isométhyléthyléthylène.

Digitized by Google

Corps.	δ.	t°.	$\frac{\delta}{3} = \Delta$.	$\frac{\delta}{2(2-m)} = \Delta$.	
Chlorure d'éthylène.....	1,2808	0°	0,427	0,4236	
Id.	1,256	+ 12	»	0,422	0,422
Id.	1,247	+ 18	»	0,422	
Id.	1,1356	+ 85,5	»	0,419	
Chlorure d'éthylidène. ...	1,204	+ 0	0,401	0,406	
Id.	1,189	+ 4,3	»	0,403	0,405
Id.	1,107	+ 57,8	»	0,405	
Chlorure de propyle.....	0,9156	0	»	0,316	
Chlorure d'allyle.....	0,934	0	»	0,318	
Bromure d'éthyle.....	1,4733	0	»	0,503	
Alcool allylique.....	0,8709	0	0,2903	0,2903	
Id.	0,8604	+ 13		0,2916	
Id.	0,8507	+ 25	»	0,2927	0,294
Id.	0,8183	+ 62	»	0,2953	
Id.	0,7883	+ 93,5	»	0,2969	
Formiate de méthyle.....	0,9928	0	0,331	0,345	
Formiate d'éthyle.....	0,9356	0	»	0,3200	0,321
Id.	0,9188	+ 17	»	0,3217	
Formiate de propyle.....	0,9188	0	0,306	0,308	
Id.	0,8761	+ 38,5	»	0,308	0,308
Id.	0,835	+ 72,5	»	0,308	
Formiate d'amyle.....	0,8743	+ 21	0,291	0,293	
Acétate de méthyle.....	0,9562	0	»	0,3273	
Id.	0,919	+ 22	»	0,3243	0,326
Id.	0,8825	+ 55	»	0,3264	
Acétate d'éthyle.....	0,9239	0	»	0,3127	
Id.	0,8875	+ 29,4	»	0,3123	0,3125
Id.	0,8623	+ 50,3	»	0,3119	
Acétate de propyle.....	0,910	0	0,303	0,299	
Acétate de butyle normal..	0,8718	+ 23	»	0,293	
Acétate d'isobutyle.....	0,8921	0	0,2974	0,294	
Acétate d'amyle.....	0,8963	0	0,299	»	
Propionate de méthyle....	0,9578	+ 4	»	0,3235	
Propionate d'éthyle.....	0,914	0	0,3047	0,303	
Id.	0,8945	+ 17	»	0,3030	0,303
Id.	0,8625	+ 45	»	0,3025	
Propionate de propyle.....	0,9022	0	0,301	0,295	0,295
Id.	0,8498	+ 51,27	»	0,295	
Propionate d'isobutyle.....	0,8926	0	0,297	0,2906	0,290
Id.	0,8437	+ 49,2	»	0,290	
Butyrate d'éthyle.....	0,9019	0	0,301	0,297	
Butyrate de propyle.....	0,879	+ 15	0,293	»	
Butyrate d'isopropyle.....	0,8787	0	0,293	»	

Digitized by Google

Corps.	δ.	t°.	$\frac{\delta}{3} = \Delta$.	$\frac{\delta}{2(2-m)} = \Delta$.	
Butyrate de butyle.....	0,8885	0°	0,296	»	
Butyrate d'isobutyle.....	0,8798	»	0,293	»	
Butyrate d'amyle.....	0,852	+ 15	0,284	»	
Isobutyrate de méthyle ...	0,9056	0	0,3019	0,3017	0,3016
Id.	0,8625	+ 38,6	»	0,3015	
Id.	0,815	+ 78,6	»	0,3016	
Isobutyrate d'éthyle.....	0,890	0	0,297	0,2945	0,295
Id.	0,871	+ 12,8	»	0,295	
Id.	0,831	+ 55,6	»	0,295	
Isobutyrate de propyle . ..	0,8872	0	0,296	0,2887	
Valérianate d'éthyle	0,894	0	0,298	0,294	0,295
Id.	0,8765	+ 20	»	0,2955	
Id.	0,8616	+ 40	»	0,2975	
Acétone.....	0,814	0	»	0,2785	0,278
Id.	0,7921	+ 18	»	0,2778	
Acétal	0,821	+ 22,4	»	0,285	
Acide propionique.....	1,0143	0	0,338	0,326	

Recherches expérimentales sur la chute des corps et sur la résistance de l'air à leur mouvement; expériences exécutées à la tour Eiffel; par MM. Cailletet et E. Colardeau.

Un très petit nombre d'expériences ont été faites jusqu'ici sur la chute des corps en tenant compte de la résistance que l'air oppose à leur mouvement. Cependant, en dehors de l'intérêt scientifique qu'elle présente, l'étude de cette question permettrait de résoudre un grand nombre de difficultés qui se rencontrent à chaque instant dans diverses applications pratiques, résistance de l'air aux trains de chemins de fer et aux navires en marche, direction des ballons, questions relatives à l'aviation, influence du vent sur les constructions, emploi du vent comme moteur, etc.

Jusqu'ici les expériences faites sur ce sujet ont été exécutées surtout en imprimant aux corps un mouvement de rotation obtenu à l'aide d'une sorte de manège.

D'après les auteurs eux-mêmes, les méthodes employées ne donnent que des résultats incomplets à cause de l'entraînement

Digitized by Google

de l'air, de la force centrifuge, etc.; de plus, la vitesse qu'on peut atteindre ainsi est fort limitée.

Nous avons pensé que la tour Eiffel offrait des conditions particulièrement avantageuses pour étudier plus complètement cette intéressante question et pour aborder directement l'étude du mouvement rectiligne. Nous avons été encouragés dans cette voie par les bienveillants conseils de notre éminent confrère M. Marey. Grâce à la bienveillance de M. Eiffel, si connue de tous les savants, nous avons pu réaliser nos expériences dans des conditions exceptionnellement favorables; nous saisissons avec empressement l'occasion de lui témoigner notre reconnaissance pour la construction et l'organisation d'un laboratoire situé à la seconde plate-forme de la tour, à une altitude de 120^m au-dessus du sol, et dans lequel sont installés nos appareils d'expériences et de mesures. Plusieurs de ces appareils, qui appartiennent au laboratoire de l'École Normale supérieure, ont été mis obligeamment à notre disposition par M. Violle.

Pour déterminer la loi du mouvement d'un corps tombant dans l'air, il faut connaître, à chaque instant, la position du mobile dans l'espace.

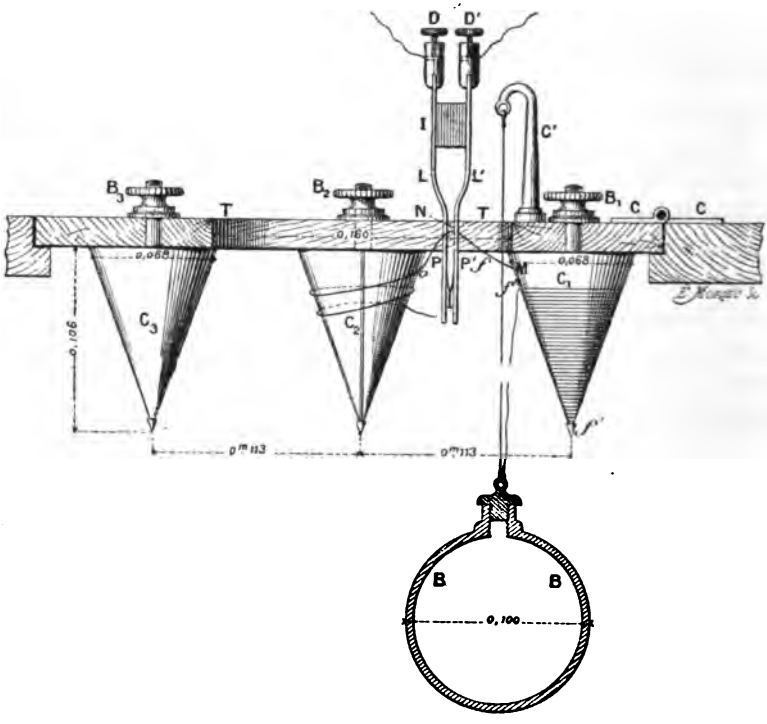
Pour y arriver, nous avons fixé ce mobile à l'extrémité d'un fil très fin et très léger qui le suit dans son mouvement et ne lui oppose qu'une très faible résistance. Ce fil est divisé en sections de 20^m. Chacune d'elles est enroulée sur un cône de bois C_1, C_2, C_3 (*fig.* 1) fixé verticalement et la pointe tournée en bas; on conçoit que le fil, entraîné verticalement par la chute du mobile, le suit avec la plus grande facilité; à cause de leur forme conique, ces bobines, bien qu'immobiles, permettent au fil de se dérouler pour ainsi dire sans frottement. Nous avons du reste évalué par une mesure directe, comme on le verra plus loin, le retard qui pourrait provenir d'une résistance au déroulement du fil. Lorsque chacune de ces sections de 20^m est déroulée, un contact électrique fait agir le style d'un enregistreur sur lequel un appareil de mesure du temps (diapason électrique) indique cet instant, avec une approximation atteignant facilement le centième de seconde. On mesure donc ainsi au bout de combien de temps le mobile a parcouru des espaces de 20^m, 40^m, 60^m.

Ce contact électrique est disposé de la manière suivante : en

Digitized by Google

passant d'un cône C_1 au suivant C_2, le fil est engagé suivant MNO (*fig.* 1) dans l'intervalle libre que laissent entre elles deux lames métalliques L, L isolées en I par un morceau d'ébonite et dont les extrémités se touchent par l'intermédiaire de contacts en platine, P, P'. Cette sorte de pince est traversée par un courant électrique qui va animer le style de l'enregistreur et qui est interrompu lorsque les deux branches s'écartent.

Fig. 1.



Quand le cône C_1 est déroulé, le fil fixé au mobile écarte un instant les branches de la pince et ouvre le courant qui se rétablit aussitôt : c'est alors que la plume de l'enregistreur laisse une trace sur le cylindre tournant; puis le cône C_2 se déroule à son tour, la seconde pince s'ouvre après un nouveau parcours de 20^m, et ainsi de suite. Les lames L et L' qui constituent chaque pince étant très souples, la résistance qu'elles opposent à l'écartement

Digitized by Google

par le passage du fil est extrêmement faible. Dans les essais faits pour évaluer cette résistance, un poids de 2^{gr}, tombant de 10^{cm} de hauteur, a suffi pour écarter ces lames. Un calcul très simple permet de voir que cet effort ne ralentirait un mobile du poids de 1^{kg} au bout d'une chute de 20^{m} que de moins de $0^{mm},2$ par seconde, soit un retard inférieur à $\frac{1}{100000}$. Pour évaluer la double résistance pouvant provenir soit du déroulement du fil, soit de son frottement dans l'air, nous avons employé plusieurs méthodes.

1° Nous avons laissé tomber une sorte de flèche cylindrique de bois, lestée à sa partie inférieure par une masse métallique terminée en pointe très effilée. Cette flèche, à cause de sa faible section et de sa forme très allongée, ne doit éprouver par elle-même qu'une très faible résistance de la part de l'air. Elle doit, par suite, prendre un mouvement de chute très voisin de celui qu'elle aurait dans le vide. Cette dernière conclusion s'applique encore si les résistances passives dues au fil entraîné sont négligeables. Or, dans plusieurs expériences très concordantes, nous avons trouvé que la durée totale de la chute de cette flèche ne diffère de celle de la chute théorique dans le vide que des $\frac{20}{1000}$ de sa valeur.

2° Un second moyen de vérification que nous avons employé consiste à laisser tomber le mobile entièrement libre et non attaché au fil. L'instant de son départ est enregistré par la plume électrique dont le circuit est interrompu par la chute même du corps au moment où il se met en mouvement. En arrivant au sol, ce mobile vient frapper un panneau de bois soutenu par des ressorts et que traverse un courant qui anime l'enregistreur. Au moment du choc, le panneau cède, et le courant est interrompu, de sorte que l'instant précis de l'arrivée est enregistré, ainsi que celui du départ. En comparant la durée totale de la chute libre à celle que donne le même mobile attaché au fil et faisant fonctionner les pinces, la différence de ces durées représente la somme des retards que subit ce mobile de la part des résistances passives dues à l'appareil même. Dans deux expériences faites avec un cylindre de cuivre du poids de 2080^{gr}, nous avons trouvé que la différence des durées de chute de ce cylindre, lorsqu'il est

Digitized by Google

attaché au fil et lorsqu'il est entièrement libre, ne dépasse pas $0^s,04$, sur une durée totale de chute de cinq secondes, soit un retard inférieur à $\frac{1}{100}$ dû à l'entraînement du fil.

Les expériences que nous avons faites jusqu'ici ont eu surtout pour but de vérifier la précision de nos appareils, la sûreté de leur fonctionnement et la valeur pratique de la méthode.

Nous avons vérifié que la résistance opposée par l'air à des plans d'égales surfaces, se mouvant dans une direction normale à ces plans, ne dépend pas de leur forme. Nous avons employé des surfaces circulaires, carrées, triangulaires équilatérales, et nous avons trouvé des durées de chute qui ne diffèrent que de quantités insignifiantes, comme on peut le vérifier sur la *fig.* 2, tracés 3 et 4. Cette figure est la réduction au $\frac{1}{4}$ des graphiques obtenus au moyen de nos appareils.

Afin de laisser le dessin plus net, malgré la réduction d'échelle, on a tracé la courbe du diapason en supposant qu'il n'exécute que 25 vibrations par seconde. Ces résultats confirment nettement les faits déjà connus. Nous avons réservé pour des études plus complètes l'examen des surfaces rectangulaires dont les deux dimensions sont très différentes l'une de l'autre.

Nous avons cherché également à vérifier si la résistance qu'éprouve un plan en mouvement dans l'air est proportionnelle à sa surface. Nous avons employé, dans une de nos expériences, deux plans carrés dont les surfaces sont entre elles comme 1 est à 2, et nous les avons lestés avec des poids qui étaient dans le même rapport. Les durées de chute, corrigées des retards dus à la résistance opposée par l'air au contrepoids servant de lest, sont de $6^s,92$ et $6^s,96$; ces nombres étant sensiblement identiques, on voit qu'il y a lieu d'admettre la proportionnalité.

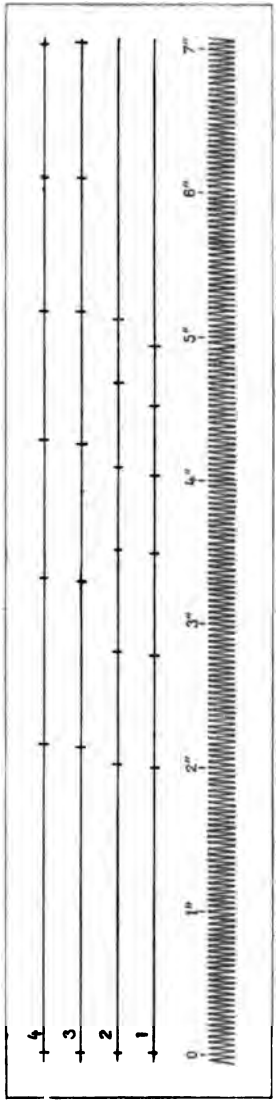
Dans ces expériences, l'évaluation, en kilogrammes par mètre carré, de la résistance opposée par l'air à une surface en mouvement, pour une vitesse donnée, est très simple; en effet, grâce à la vitesse croissante du mobile dans les premiers instants de la chute, la résistance que l'air lui oppose va en augmentant, de sorte qu'elle devient bientôt égale au poids du mobile lui-même.

A partir de ce moment, le mouvement de chute devient uniforme, et la simple pesée du corps qui tombe et de son lest donne

Digitized by Google

immédiatement en kilogrammes la valeur de la résistance de l'air, pour la vitesse correspondante. Dans toutes les expériences qui

Fig. 2.



N° 1. — Tracé théorique de la chute d'un corps tombant librement dans le vide.
N° 2. — Tracé expérimental de la chute d'une longue flèche en bois lestée par une masse métallique terminée en pointe.
N° 3. — Chute d'un plan carré de $0^{mq},0225$ lesté par un poids de 800^{gr}.
N° 4. — Chute d'un plan triangulaire de même surface que le précédent et lesté par le même poids.

viennent d'être citées, nous avons réglé le lest des surfaces employées, de façon à maintenir ce mouvement uniforme au bout de 60^{m} à 100^{m} de chute.

Digitized by Google

En faisant varier le lest pour une même surface, on peut obtenir des mouvements uniformes avec diverses vitesses, et, par suite, étudier la variation de la résistance de l'air en fonction de la vitesse du mobile. On admet généralement que cette résistance est proportionnelle au carré de la vitesse, du moins pour des vitesses modérées; la formule exprimant ce résultat serait

$$P = KV^2,$$

P étant la pression de l'air en kilogrammes, par mètre carré, sur la surface du plan mobile, V la vitesse en mètres par seconde et K une constante. Si cette formule est exacte, la valeur de K tirée des observations correspondantes de P et de V doit toujours être la même pour des vitesses différentes. Nos expériences indiquent que le coefficient K doit augmenter avec la vitesse. Par suite, la résistance P de l'air augmenterait elle-même plus vite que le carré de la vitesse, et la formule précédente serait incomplète. Dans une prochaine Note, nous donnerons les résultats expérimentaux relatifs à la variation de ce coefficient; nous nous bornons aujourd'hui à donner la valeur 0,071 obtenue avec des plans animés d'une vitesse de 25^m environ par seconde.

M. Langley a obtenu, pour des vitesses de $4^m,48$ à $11^m,20$ par seconde, des valeurs de K comprises entre 0,070 et 0,090. La comparaison de ces diverses valeurs de K avec celles de V n'indique pas de relation nette entre ces deux quantités, les variations de l'une n'étant pas toujours de même sens que celles de l'autre. On voit de plus que la valeur moyenne 0,080 de ce coefficient K, obtenue par M. Langley, est plus forte que celle qui correspond à nos expériences, malgré les plus faibles vitesses qu'il a réalisées. Cette différence s'explique facilement par le mouvement tangentiel au plan que donne à l'air la force centrifuge dans le mouvement de rotation d'un manège (1). On sait que la résistance totale qu'éprouve un plan qui se meut dans l'air est plus grande lorsque l'air possède un mouvement de glissement tangentiel que lorsqu'il est au repos. C'est pourquoi nous nous attendions à voir nos ré-

(1) *Voir* p. 161 de de Recueil (séance du 18 mars 1892) le compte rendu des *Expériences de M. Langley sur la résistance de l'air au mouvement*, par M. Lauriol.

Digitized by Google

sultats souvent troublés par le vent; aussi avons-nous cherché à opérer de préférence en air calme. Les résultats obtenus pour les mêmes mobiles, dans des conditions atmosphériques peu différentes, sont restés tout à fait comparables entre eux.

SÉANCE DU 18 NOVEMBRE 1892.

PRÉSIDENCE DE M. LIPPMANN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. AGUILAR Y SANTILLAN (Raphaël), Préparateur de Physique à l'École normale de Mexico (Mexique).

LAVERDE (Jésus Oloya), à la Faculté de Bogota (États-Unis de Colombie).

M. le COMMANDANT RENARD communique ses recherches « *Sur l'emploi des ballons perdus pour l'exécution de mesures météorologiques à très grandes hauteurs* ».

M. RENARD rappelle qu'il s'est occupé des sondages aériens à très grande hauteur depuis près d'un an et qu'il s'en est entretenu avec plusieurs de ses collègues de la Société de Physique et notamment avec MM. Violle, Ch.-Ed. Guillaume et Leduc.

M. Renard présente un échantillon d'enveloppe légère en papier japonais, un thermomètre et un baromètre enregistreur ne pesant chacun que 1200^{gr}; enfin un parachoc formé d'une cage d'osier au centre de laquelle le baromètre enregistreur est suspendu par huit ressorts en caoutchouc. L'appareil projeté violemment sur le sol ne subit aucune avarie. Le poids du parachoc n'est que de $0^{kg},350$.

Il donne comme conclusions :

1° Qu'il est possible de construire des sondes aériennes permettant d'explorer l'atmosphère à l'aide d'instruments enregistreurs jusqu'à des hauteurs voisines de 20^{km};

2° Mais que ces sondes ne peuvent être rendues pratiques que par l'emploi d'enveloppes imperméables extrêmement légères, telles que celles qu'il met sous les yeux des membres de la Société, et par un allégement pour ainsi dire excessif des enregistreurs eux-mêmes et de leurs parachocs.

3° L'idée de ces sondages à très grande hauteur n'a donc pas grande valeur par elle-même, et son importance pratique dépend essentiellement des dispositions particulières prises pour obtenir l'excessif allégement de toutes les parties de l'appareil.

Digitized by Google

4° L'objet de cette communication est donc bien moins de revendiquer l'idée première des sondages à très grande hauteur par ballons perdus, idée qui peut venir à tout le monde, que de faire connaître les résultats de ses recherches sur les enveloppes légères, et les instruments et parachocs légers sans lesquels l'application des sondes aériennes à très grande hauteur est pratiquement impossible.

M. Abraham a effectué une *nouvelle détermination du rapport v entre les unités* C.G.S., *électromagnétiques et électrostatiques,* en mesurant la capacité d'un condensateur de forme connue.

Ce condensateur est formé par deux disques en glace de Saint-Gobain, travaillés en verres d'optique et argentés sur toute leur surface. Sur l'un d'eux un sillon tracé dans l'argenture sépare le plateau collecteur du système de garde. La distance des plateaux est mesurée à 1 ou 2 microns près par un procédé optique.

La mesure électromagnétique de la capacité se fait par le procédé du galvanomètre différentiel. Un commutateur tournant envoie dans le premier circuit du différentiel (Thomson de 13000ω) le courant périodique de décharge du condensateur. On compare l'effet de ce courant discontinu au moyen d'un courant continu que fournit la même pile de charge et qui traverse le second fil. Il suffit alors de mesurer la vitesse du commutateur et de faire la lecture des résistances.

La pile de charge, 80 éléments Gouy, est soigneusement isolée à la paraffine; il en est de même de tout le circuit, et l'on a pris les précautions nécessaires pour éviter toute force thermo-électrique.

Le commutateur est monté sur ébonite, et les contacts sont pris au moyen de doubles ressorts que frôlent en tournant deux anneaux de laiton convenablement échancrés. La période du commutateur est rendue régulière et mesurée par un procédé stroboscopique qui la compare à la durée d'oscillation d'un pendule.

Pour chaque expérience on déterminait la constante du galvanomètre et l'on comparait les résistances à un ohm étalon.

Il a été fait cinq séries de mesures (soit 14 déterminations) pour lesquelles on a successivement démonté et ajusté les différents appareils. Les nombres trouvés ont oscillé entre

$$v = 299{,}04 . 10^8 \quad \text{et} \quad v = 299{,}44 . 10^8;$$

$$\text{moyenne adoptée} \quad v = 299{,}2 . 10^8.$$

L'auteur estime que ce résultat doit être exact au $\frac{1}{1000}$.

Les mesures sont rapportées aux étalons C.G.S. : la seconde étant donnée par une horloge astronomique réglée, par téléphone, sur l'Observatoire, l'ohm étalon a été fourni par le Bureau des Poids et Mesures $\left(\text{on a admis OHM VRAI} = \frac{106{,}25}{106} \text{ ohm légal}\right)$; les longueurs ont été mesurées

Digitized by Google

à l'aide d'une machine à diviser que M. Benoît, directeur du Bureau, avait eu l'obligeance d'étalonner avec un *mètre normal.*

M. Alphonse Berget décrit le dispositif astrophotométrique de MM. Lagrange et Stroobant (de Bruxelles).

Le principe de leur méthode est d'employer comme terme de comparaison une étoile artificielle, formée par l'image réelle d'une lampe à incandescence, qui peut être amenée dans le plan focal de la lunette par un jeu de miroirs; l'un de ceux-ci, qui est mobile, permet de déplacer l'astre artificiel et de lui donner, dans le champ, toutes les positions voulues par rapport à l'astre étudié. On peut d'ailleurs en faire varier l'éclat par un diaphragme-iris placé devant la lampe et en obligeant le rayon qu'elle émet à traverser un milieu absorbant d'épaisseur variable.

Sur le pouvoir rotatoire des corps en solution, par M. G. Wyrouboff. — La polarisation rotatoire à laquelle Biot a donné le nom de *moléculaire,* et qui existe dans les corps dont la forme cristalline est détruite par la solution, a été étudiée par les physiciens et les chimistes sans qu'on ait pu découvrir aucune loi déterminant les conditions dans lesquelles le phénomène se produit. M. Wyrouboff a essayé d'appliquer à cet ordre de faits les méthodes de la Physique moléculaire, qui ont donné entre les mains de M. Mallard de si brillants résultats pour la polarisation rotatoire cristalline. Puisque dans les deux cas la déviation du plan de polarisation est proportionnelle à l'épaisseur et à peu près inversement proportionnelle au carré de la longueur d'onde, le phénomène doit avoir la même origine, c'est-à-dire tenir à la symétrie de la particule cristalline et aux propriétés optiques qui dérivent de cette symétrie.

C'est ce que M. Wyrouboff a essayé de montrer en examinant les rapports qui peuvent exister entre le pouvoir rotatoire des corps dissous et la symétrie propre à leur état cristallisé. Il a trouvé ainsi que *les substances géométriquement et optiquement isomorphes possèdent en solution un pouvoir rotatoire sensiblement égal.*

Il résulte de là que ce pouvoir rotatoire tient bien à la particule cristalline et que cette particule se conserve en solution.

Digitized by Google

Sur l'emploi des ballons perdus pour l'exécution de mesures météorologiques à très grandes hauteurs;

Par M. le commandant Renard.

Il y a quelques mois, des recherches sur de nouveaux vernis et de nouvelles enveloppes très légères pour les aérostats m'ont suggéré l'idée de mettre à la disposition des savants qui s'occupent de l'atmosphère une *sonde aérienne* peu coûteuse, permettant d'exécuter à très peu de frais de nombreuses mesures de toute nature (thermométrie, actinométrie, hygrométrie, électricité atmosphérique, composition chimique de l'air des hautes régions, etc.). J'ai eu l'occasion de parler de ce projet et de la possibilité d'aller à 18^{km} ou 20^{km}, au moyen d'un ballon perdu de faibles dimensions, à plusieurs de nos collègues de la Société de Physique et notamment à M. Violle, à M. Ch.-Ed. Guillaume, à M. Leduc et à plusieurs autres. Tout récemment la même idée semble être venue à d'autres personnes et une Communication a même été adressée à l'Académie à ce sujet.

Dans ces conditions, il m'a semblé nécessaire de communiquer à la Société le résultat de mes recherches bien qu'elles ne soient pas entièrement terminées.

Le problème que je m'étais posé était le suivant :

Franchir avec un petit ballon perdu de 100^{mc} *environ de capacité* les neuf dixièmes de la masse atmosphérique *en emportant un baromètre enregistreur et un autre instrument à indications continues* (*thermomètre, actinomètre, etc.*).

Je tenais à ne pas dépasser cette capacité de 100^{mc}, estimant qu'un grand ballon, dont les frais de gonflement et de départ seraient très élevés, ne pourrait exécuter que de rares ascensions, dont les résultats seraient nécessairement incomplets et hors de proportion avec les dépenses faites.

Quelques chiffres donneront immédiatement une idée de la difficulté pratique du problème.

La force ascensionnelle de l'hydrogène commun à la pression de 1^{kg} par centimètre carré et à 0° est sensiblement égale à $1^{kg},122$.

Digitized by Google

Dans la région où la pression est réduite au dixième de la valeur précédente, elle n'est plus que $0^{kg},1122$, de telle sorte que la force ascensionnelle totale du gaz de notre ballon de 100^{mc} se réduit à $11^{kg},220$ et il faut, dans ces conditions, enlever une enveloppe de 100^{mq} (1), deux instruments enregistreurs et les appareils destinés à les protéger contre les chocs de l'atterrissage.

Pour résoudre le problème je me suis proposé :

1° De trouver une enveloppe imperméable à l'hydrogène et ne pesant que 30^{gr} par mètre carré ;

2° D'alléger les instruments enregistreurs de manière à les ramener à un poids voisin de 1200^{gr}, ce qui peut être obtenu par l'emploi judicieux de l'aluminium dans les appareils Richard ;

3° De protéger ces appareils contre les chocs par un dispositif aussi léger que possible.

Aujourd'hui ces trois problèmes sont résolus.

1° L'enveloppe pèse de 45^{gr} à 50^{gr} le mètre carré et sous la pression de 30^{mm} d'eau, quatre fois supérieure à la pression maxima réellement atteinte dans notre ballon, elle ne perd que 7^{lit} d'hydrogène par mètre carré en dix-huit heures. Dans ces conditions, un ballon de 100^{mq} de surface ne perdrait en six heures (durée maxima d'une expérience) que 230^{lit} de gaz, soit $\frac{1}{400}$ environ de la capacité du ballon de 100^{mc} que nous proposons.

C'est l'imperméabilité pratique.

2° Je me suis occupé tout d'abord du baromètre et du thermomètre enregistreurs. Les instruments construits par M. Richard pesaient $2^{kg},800$ chacun et j'ai pu facilement ramener leur poids à $1^{kg},200$ environ, y compris leur boîte protectrice.

3° Pour protéger contre les chocs de l'atterrissage ces instruments délicats, je les ai placés au milieu de cages d'osier extrêmement légères et cependant très solides auxquelles ils sont reliés par huit ressorts de caoutchouc de 7^{cm} à 8^{cm} de longueur allant des huit sommets de la cage aux huit sommets de la boîte qui renferme les instruments.

---

(1) La surface d'un ballon de 100^{mc} est d'environ 100^{mq}.

Digitized by Google

Chacune de ces cages pèse moins de 1^{kg}.

L'instrument est fixé dans sa cage comme une araignée au milieu de sa toile et il est facile de se rendre compte en laissant tomber l'appareil de l'efficacité du système de protection dont il s'agit. D'ailleurs, pendant la descente, le ballon complètement vidé et faisant parachute ne pourra pas tomber avec une vitesse supérieure à 2^{m} par seconde, vitesse résultant d'une chute libre de $0^{m},20$, bien inférieure à la limite d'efficacité de notre protecteur en osier.

De ce côté, il n'y a donc absolument rien à craindre.

Ces divers problèmes résolus, j'ai arrêté ainsi le projet de sonde aérienne à très grande hauteur.

Diamètre du ballon	6^{m}
Volume	113^{mc}
Surface	113^{mq}
	kg
Poids de l'enveloppe	5,650
Filet (ne se rompant que sous un effort total de 500^{kg}).	0,573
Poids des deux enregistreurs	2,400
Poids des deux parachocs	2
Total	10,623

Dans ces conditions, le ballon monterait jusqu'à la région où la force ascensionnelle x du mètre cube de gaz serait donnée par la relation

$$113x = 10,623,$$

d'où

$$x = 0^{kg},0940.$$

Comme la force ascensionnelle A du gaz à la pression de 1^{kg} par centimètre carré (pression normale) est de $1^{kg},122$, on en conclut que la pression atmosphérique dans la région occupée par la sonde aérienne au sommet de la courbe sera réduite à $\frac{0,0940}{1,122}$ ou $0^{kg},0838$ par centimètre carré, soit à 62^{mm} *de mercure*.

Les $\frac{11}{12}$ de la masse atmosphérique seront franchis.

La hauteur atteinte (variable avec la température) sera voisine de 20^{km}.

Il nous reste un mot à dire du mode d'opération :

1° Par beau temps, on réglera la force ascensionnelle au départ

Digitized by Google

de façon à monter avec une vitesse moyenne de 3^m par seconde; le sommet de la trajectoire sera alors atteint en deux heures environ.

Une légère fuite systématique, trop faible pour arrêter le ballon avant sa zone d'équilibre, abrégera la durée du stationnement dans les régions élevées et déterminera une descente, dont la vitesse n'excédera pas 2^m par seconde.

L'expérience aura ainsi duré en tout cinq à six heures. *Quatorze à quinze mètres cubes d'hydrogène suffiront* pour l'exécution, le ballon se remplissant peu à peu pendant l'ascension et conservant une force ascensionnelle à peu près constante jusqu'au moment où il sera plein.

Les frais de gaz s'élèveront environ à 20^{fr}, et la dépense totale de l'expérience ne pourra guère dépasser 50^{fr}, y compris les frais de retour du matériel par les soins des autorités locales.

2° Par mauvais temps, on recourra à la méthode si simple imaginée à Metz, en 1870, par le colonel du Génie Goulier.

Le ballon *entièrement rempli* sera lesté d'un sac plein d'eau, dont l'écoulement sera réglé de façon à élever la zone d'équilibre d'environ 3^m par seconde.

Dans ces conditions, la pluie ou même la neige pourront bien ralentir l'essor du ballon, mais ne pourront jamais l'enrayer complètement, et, une fois au-dessus des régions troublées, l'aérostat gagnera fatalement la hauteur prévue.

Une *petite fuite* déterminera la descente, qui s'exécutera dans des conditions identiques à celles dont nous avons parlé précédemment.

Dans ce cas, le prix de revient de l'ascension pourra s'élever à 150^{fr} environ, chiffre encore assez faible pour qu'on puisse souvent répéter ces essais par mauvais temps, qui présentent un grand intérêt au point de vue de la répartition des températures.

En terminant, nous tenons à faire remarquer qu'avec les enveloppes ordinaires des ballons, qui pèsent environ $0^{kg},300$ par mètre carré, on ne pourrait exécuter de sondages à très grande hauteur qu'au prix d'une dépense excessive.

Soit D le diamètre du ballon, et supposons que, comme précé-

Digitized by Google

demment, nous voulions l'élever jusqu'à la région où la pression est réduite à 62^{mm} de mercure, et supposons en outre que le ballon n'enlève que sa propre enveloppe.

Sa surface sera πD^2, et son poids

$$0,300\pi D^2.$$

Son volume sera $\frac{1}{6}\pi D^3$ et sa force ascensionnelle au sommet de sa trajectoire sera avec l'hydrogène

$$0,0940 \times \frac{1}{6}\pi D^3.$$

L'équilibre sera atteint si l'on a

$$0,300\pi D^2 = 0,0940 \times \frac{1}{6}\pi D^3,$$

d'où

$$D = \frac{1,8}{0,0940} = 19^m,15.$$

Un pareil ballon aurait une capacité de 3700^{mc} environ, coûterait très cher, exigerait un personnel de manœuvre nombreux, et chaque expérience, même par un beau temps, permettant de ne gonfler le ballon qu'en faible partie, coûterait plus de 500^{fr} d'hydrogène.

Si l'on recourait au gaz d'éclairage, dont la force ascensionnelle n'est que les deux tiers de celle de l'hydrogène, on aurait

$$D = \frac{1,8}{2 \times 0,0940} = 28,60,$$

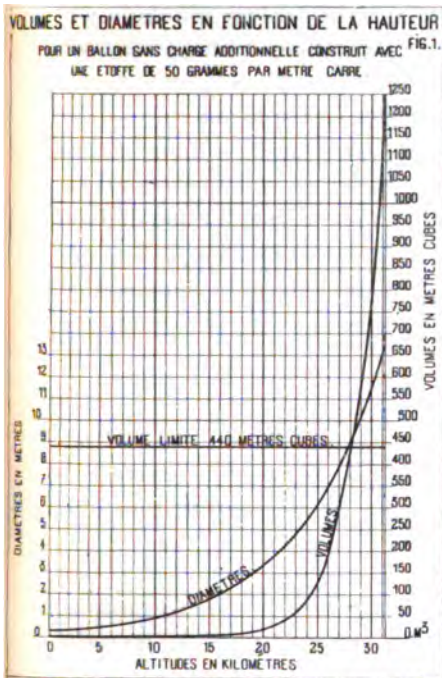
ce qui donne un ballon énorme de 12000^{mc} de capacité et d'un emploi pratiquement impossible.

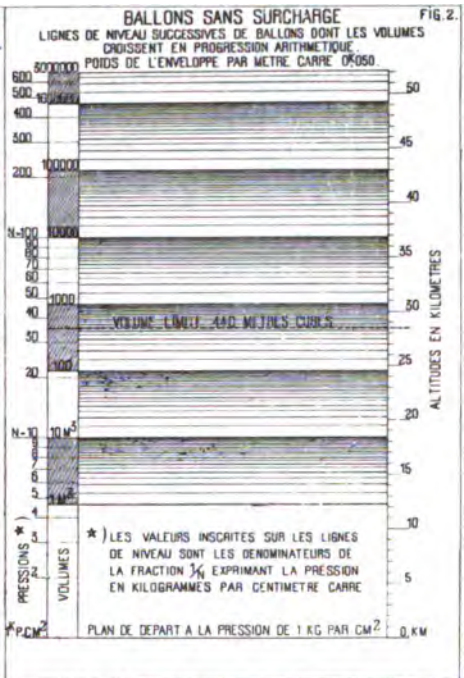
Nous pouvons donc dire comme conclusion :

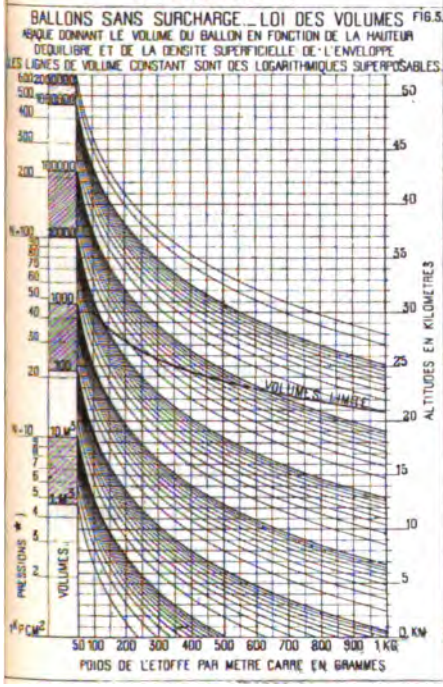
1° Qu'il est possible de construire des sondes aériennes permettant d'explorer l'atmosphère, à l'aide d'instruments enregistreurs, jusqu'à des hauteurs voisines de 20^{km};

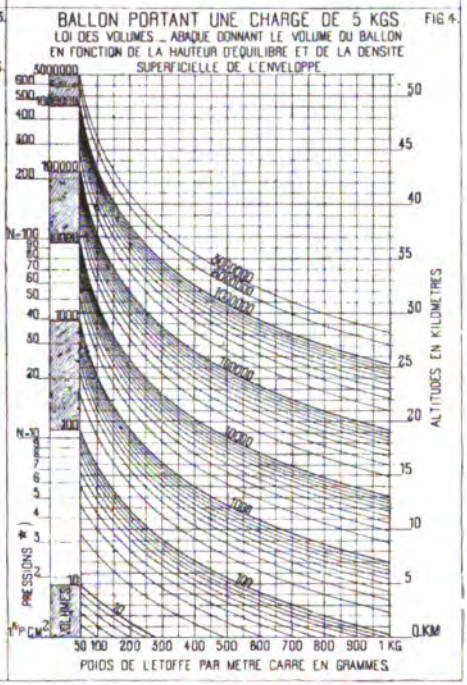
2° Mais que ces sondes ne peuvent être rendues pratiques que par l'emploi d'enveloppes imperméables, extrêmement légères, telles que celles que j'ai pu mettre aujourd'hui sous les yeux des membres de la Société, et par un allégement pour ainsi dire excessif des enregistreurs eux-mêmes et de leurs parachocs.

Digitized by Google









Digitized by Google

3° L'idée de ces sondages à très grande hauteur n'a donc pas grande valeur par elle-même, et son importance pratique dépend essentiellement des dispositions particulières prises pour obtenir l'excessif allégement de toutes les parties de l'appareil.

4° L'objet de cette Communication est donc bien moins de revendiquer l'idée première des sondages à très grande hauteur par ballons perdus, idée qui peut venir à tout le monde, que de faire connaître les résultats de mes recherches sur les enveloppes légères, et les instruments et parachocs légers sans lesquels l'application des sondes aériennes à très grande hauteur est pratiquement impossible.

Sur une nouvelle détermination du rapport v entre les unités C.G.S. électromagnétiques et électrostatiques (¹); par M. Henri Abraham.

Le rapport v est le nombre d'unités C.G.S. électrostatiques contenues dans l'unité C G.S. électromagnétique de quantité d'électricité.

Nous avons adopté, pour ces recherches, la méthode qui consiste à mesurer en unités électromagnétiques (c_1) la capacité d'un condensateur de forme connue. La mesure électrostatique c de la même capacité est calculée, au moyen des dimensions linéaires du condensateur : le rapport $\frac{c}{c_1}$ est égal à v^2.

Pour avoir c_1 on compare le courant discontinu i_2, que l'on obtient en déchargeant périodiquement le condensateur, avec un courant continu i_1, provenant de dérivations prises sur le circuit de la pile de charge. Ces deux courants passent respectivement dans chacun des fils d'un galvanomètre différentiel : on résout l'équation d'équilibre par rapport à l'inconnue c_1.

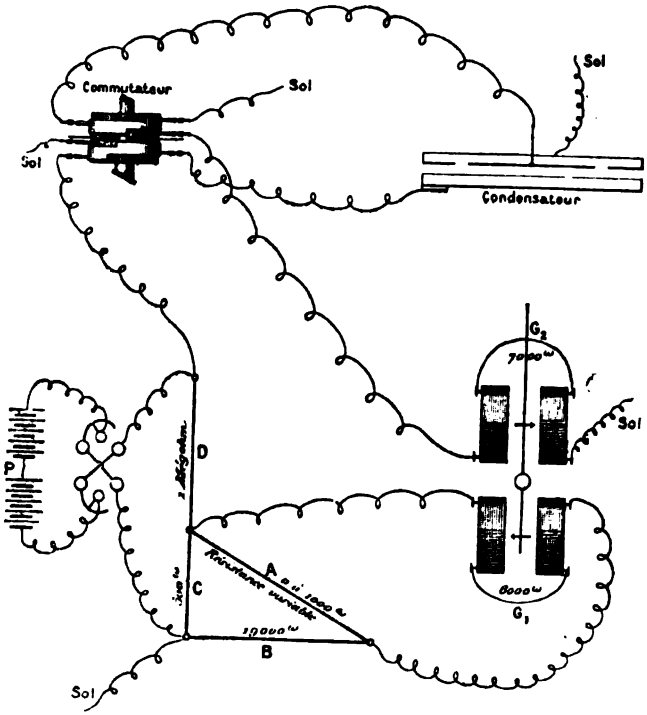
La disposition de l'expérience est donnée par la *fig.* 1. Le courant principal I, fourni par une pile P (80 éléments Gouy bien isolés), passe par un renverseur à 6 godets, circule dans un

(¹) Extrait d'un Mémoire détaillé inséré aux *Annales de Chimie et de Physique.*

Digitized by Google

mégohm D suivi de la résistance C qui vaut 500^{ω}, et retourne à la pile. L'un des fils du galvanomètre $G_1 = 6000^{\omega}$, shunté par la résistance variable A, fait partie d'un circuit qui, contenant encore

Fig. 1.



un lest B de 19000^{ω}, est en dérivation sur C. Le second fil, $G_2 = 7000^{\omega}$, est traversé n fois par seconde par le courant de décharge que lui envoie le commutateur. Les communications sont établies de telle sorte que le potentiel prendra alternativement sur l'armature inductrice du condensateur les valeurs qu'il possède aux deux pôles de la pile, dont l'un est le sol.

Si k est le coefficient du différentiel ($i_1 = ki_2$), la condition d'équilibre est

$$\frac{AC}{A(G_1 + B + C) + G_1(B + C)} I = k \frac{nc}{v^2}(D + C) I,$$

d'où v,

$$v = \sqrt{nck \cdot \frac{D + C}{C} \cdot \frac{A(G_1 + B + C) + G_1(B + C)}{A}}.$$

Digitized by Google

Mais il faut tenir compte de la capacité parasite du commutateur et des fils de communication. Soit A′ ce que devient A lorsque le commutateur fonctionne *à vide* (condensateur supprimé), la formule corrigée sera

$$v = \sqrt{nck\,\frac{D+C}{C}\,\frac{[A(G_1+B+C)+G_1(B+C)][A'(G_1+B+C)+G_1(B+C)]}{(A-A')G_1(B+C)}},$$

et la correction est légitime parce que l'effet perturbateur des fils est bien uniquement d'ajouter la charge induite qu'ils peuvent prendre à la charge induite, d'autre part, sur le collecteur.

Les mesures faites sont rapportées aux étalons C.G.S.:

Les dimensions linéaires du condensateur sont mesurées avec une machine à diviser étalonnée.

Les résistances sont comparées à l'ohm légal.

La période de rotation du commutateur est rapportée à la seconde d'une horloge astronomique réglée sur l'Observatoire.

Tout le circuit est rigoureusement isolé par des supports en paraffine. Le galvanomètre et les boîtes de résistances sont dans des enceintes protectrices de métal et de feutre (dont l'atmosphère est desséchée) qui les soustrayent presque complètement aux variations de température. Les divers appareils qui ont des bornes en laiton, ne communiquent entre eux que par des fils de ce même alliage, afin d'éviter les forces électromotrices thermo-électriques.

Le condensateur.

C'est un condensateur à plateau avec anneau de garde. Il est placé dans l'atmosphère desséchée d'une enceinte métallique reliée au sol (*fig.* 2).

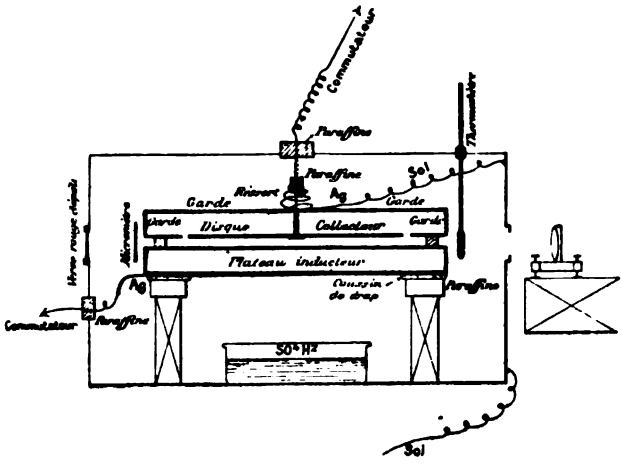
Les surfaces conductrices sont constituées par l'argenture de deux dalles circulaires en glace de Saint-Gobain, épaisses de 23^{mm}, d'un diamètre de 34^{cm}. La totalité des surfaces, dessus, dessous et bords, est argentée, en sorte que le verre n'intervient pas dans les phénomènes électriques et sert seulement de support rigide aux couches d'argent.

Avant l'argenture, les faces utiles des dalles ont été travaillées en verres d'optique, et les retouches ont été continuées jusqu'à ce qu'un sphéromètre qui donnait plus du micron ne décelât plus

Digitized by Google

de défaut. On a alors argenté les glaces avec les mêmes précautions que pour les miroirs de télescopes, puis l'argent a été doucement poli (¹).

Fig. 2.



Pour séparer le collecteur du système de garde, il a suffi de placer le plateau argenté sur une machine à diviser les cercles, et, avec un burin d'acier labourant l'argenture, on a creusé un sillon parfaitement circulaire mettant le verre à nu (²). Le trait obtenu s'est trouvé avoir juste $0^{mm},1$ de large.

Il n'y a pas de difficulté à prendre le contact avec le plateau inducteur ou avec le système de garde. Pour le collecteur, la dalle qui le porte est percée en son centre d'un trou de $2^{mm},5$ de diamètre évasé en cône vers la face travaillée. Un obturateur en argent le ferme exactement, traverse la dalle, et met ainsi le collecteur en communication avec les appareils de mesure.

(¹) M. Léon Laurent, le constructeur bien connu, a eu l'obligeance de comparer avec ses plans étalons deux des plans qui nous ont servi. Il les a trouvés l'un concave, l'autre convexe, mais applicables l'un sur l'autre à moins de $0^{\mu},6$ pour la partie utile. Les bords sont notablement moins bons.

(²) Quatre diamètres à 45° l'un de l'autre valent respectivement, à 20° :

$$21^{cm},8198;\quad 21^{cm},8190;\quad 21^{cm},8185;\quad 21^{cm},8179;$$

valeur moyenne adoptée :

$$21^{cm},8188.$$

Digitized by Google

Le plateau supérieur (*collecteur* et *garde*) est séparé de l'autre (*inducteur*) par trois rondelles en quartz de même épaisseur que l'on a soin de placer sous l'anneau de garde pour ne pas altérer la capacité utile.

Les résistances d'isolement du condensateur ont été trouvées supérieures à 8.10^{16} unités C.G.S. électromagnétiques (80 milliards d'ohms).

Voici le procédé adopté pour la mesure de la distance des armatures.

Vis-à-vis de l'intervalle des plateaux est une lame de verre portant une graduation très délicatement graduée; et, par des procédés de réglage faciles à imaginer, son plan a été rendu perpendiculaire à la direction des plateaux et ses traits ont été placés parallèlement à cette direction.

Les disques argentés constituent d'excellents miroirs plans qui donnent une série d'images du micromètre. Les rayons lumineux, recueillis par une lentille L (*fig.* 3), sont renvoyés par deux prismes à réflexion totale le long de la machine à diviser où ils viennent former des images réelles. Un microscope à réticule, porté par le chariot de la machine et qui donne le micron, permet de pointer ces images (¹) et d'en mesurer les distances. On n'a, en fait, qu'à déterminer la fraction $\frac{b+c}{a}$ (*fig.* 3) dont l'écartement e des armatures diffère de la distance connue δ des traits du micromètre.

Le procédé de mesure donne une épaisseur moyenne; il tient compte des petites déformations d'ensemble que peuvent subir les plateaux, et la valeur de e est en définitive obtenue à un micron près; c'est-à-dire avec une précision d'environ $\frac{1}{7000}$, car e était voisin de 7^{mm}.

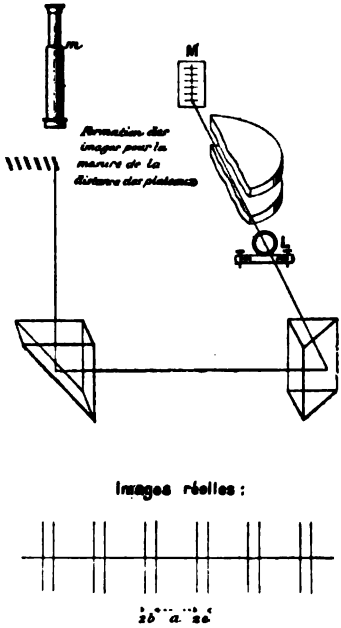
J'ai pu constater que la valeur de e pouvait varier de plusieurs microns d'un jour à l'autre, et surtout après chaque démontage. Il serait donc tout à fait illusoire de confondre la distance des armatures avec l'épaisseur des rondelles isolantes qui les séparent.

(¹) On a évité toute aberration chromatique dans l'ensemble des réfractions en n'opérant jamais qu'en lumière monochromatique (lampe à incandescence et verre rouge).

Digitized by Google

Avec la largeur attribuée à l'anneau de garde (6^{cm}, 5), et grâce à l'existence de l'argenture postérieure du disque de verre, la protection du collecteur est complète. On a, du reste, une précision

Fig. 3.



suffisante en substituant, comme on le fait, au rayon du collecteur, ce même rayon augmenté de la demi-largeur du sillon isolant : la formule à appliquer est donc, sans aucune correction, la formule théorique

$$c = \frac{S}{4\pi e}.$$

Le commutateur.

Il est constitué par deux bagues métalliques échancrées, montées avec un certain relief sur un cylindre d'ébonite, qui tournent entre des frotteurs.

Ces frotteurs (*fig.* 4) sont des ressorts de laiton battu, très flexibles, avec contre-ressorts et étouffoirs en caoutchouc; les

Digitized by Google

bagues mobiles les frôlent en tournant; sans vibrer, ils fléchissent d'une fraction de millimètre et le contact est établi.

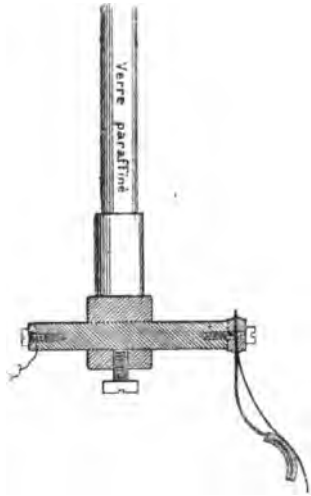
Ces contacts sont établis dans l'ordre qui suit, afin d'éviter toute déperdition et toute action étrangère :

Le condensateur étant au sol,

1° *L'inducteur* est mis en communication avec la pile de charge; le collecteur, qui communique directement avec le sol, se charge par influence.

2° *Le collecteur* est mis en communication avec le sol, non plus directement, mais par l'intermédiaire du galvanomètre; il reste chargé.

Fig. 4.



3° *L'inducteur*, immédiatement après, est mis au sol; le collecteur se décharge dans le galvanomètre.

4° *Le collecteur* est mis directement au sol.

1° *bis*. *L'inducteur*, immédiatement après, est mis en communication avec la pile, etc.

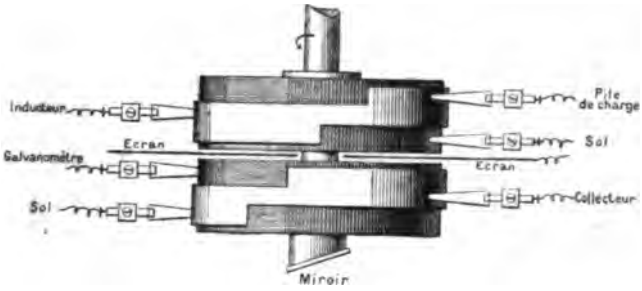
De cette manière, le système de garde est au même potentiel que le collecteur; celui-ci n'est jamais isolé avec sa charge; on donne aux périodes de charge et de décharge la plus grande durée possible; le sol et les conducteurs voisins, enfin, sont sans influence.

Digitized by Google

La *fig.* 5 représente le commutateur en projection horizontale, au début de la période de charge.

Un écran métallique, relié au sol, pénètre dans un profond sillon qui sépare les deux bagues du commutateur, et protège ainsi l'une d'elles contre les actions inductrices de l'autre (*fig.* 5). Les

Fig. 5.



fils de communication sont aussi protégés par un dispositif semblable, et c'est ainsi que l'on a pu réduire les capacités parasites à n'être que le $\frac{1}{60}$ de la capacité principale.

La partie mobile du commutateur est montée directement sur l'axe d'une machine Gramme de un cheval.

C'est en faisant appel à la méthode stroboscopique que l'on a pu régulariser et mesurer exactement la vitesse du commutateur.

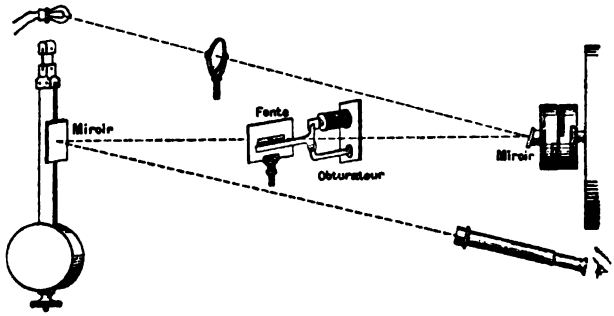
Le dispositif adopté dérive de celui que M. Lippmann a proposé pour la comparaison directe de deux pendules. La représentation schématique en est donnée par la *fig.* 6. Une fente horizontale est éclairée un instant à chaque tour du commutateur au moyen d'un miroir oblique qui tourne avec lui; ces éclairs, réfléchis par un miroir plan fixé au pendule d'une petite horloge, sont observés à l'aide d'une lunette au point sur la fente. Lorsque le pendule oscille, les images de la fente se multiplient, et, à chaque oscillation, on en voit deux ou trois dans le champ. Ces images resteront immobiles si le commutateur fait un nombre entier de tours pendant une oscillation double du pendule (¹). On obtient cette immobilité en agissant à la main sur l'axe du moteur.

(¹) On a, en effet, deux séries d'images correspondant à l'*aller* et au *retour* du

Digitized by Google

Pour avoir la valeur absolue de la période on compare, par enregistrement électrique, la seconde de la petite horloge avec celle d'une horloge astronomique. Quant au nombre entier de tours que fait le commutateur à chaque oscillation, il n'y a aucun doute à avoir sur sa valeur, puisqu'il reste toujours inférieur à 40 et qu'une erreur du $\frac{1}{40}$ est impossible.

Fig. 6.



On ne peut répondre de la vitesse du commutateur qu'au $\frac{1}{2000}$; et c'est principalement cela qui limite la précision de l'expérience et la concordance des résultats, comme le montrent les nombres que l'on trouvera plus loin.

Le galvanomètre.

Pour mesurer le coefficient k, on adopte le dispositif de la *fig.* 7, où les deux circuits G_1 et G_2 sont montés en différentiel. Il est clair que si l'équilibre du galvanomètre n'est pas altéré en abaissant la clef, c'est que l'on a

$$k = \frac{G_2}{G_1 + r}.$$

On a observé que le coefficient k restait très constant, soit que l'on augmentât l'intensité des courants, en faisant varier ρ, soit que l'on substituât au courant continu, fourni par le Leclanché,

---

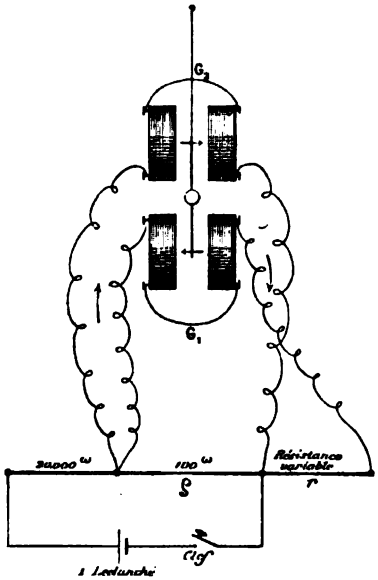
pendule, et qui semble se déplacer en sens inverse : on facilite l'observation en supprimant l'une des séries. Pour cela, un obturateur, commandé par un pendule auxiliaire, vient masquer la fente pendant le *retour* du pendule.

Digitized by Google

le courant discontinu produit par les décharges périodiques d'un condensateur.

Il n'y a presque rien à changer pour passer de ce dispositif à celui qui nous donnera les valeurs des résistances G_1 et G_2 (*fig.* 8). Les résistances marquées sur la figure 200^{ω} et 100^{ω} ont, en réalité, pour rapport 1,9969. On ajoute à G_1 une résistance variable g_1

Fig. 7.



pour conserver l'équilibre du galvanomètre lorsqu'on manœuvre le coupe-circuit J, après que l'on a abaissé la clef qui sert à fermer le circuit de Leclanché (lequel renferme encore une résistance de 20000^{ω}). On a alors

$$G_1 + g_1 = 1,9969\, G_2.$$

On répète la mesure en permutant les résistances G_1 et G_2; g_1 devient g_2 et l'on écrit

$$G_2 + g_2 = 1,9969\, G_1,$$

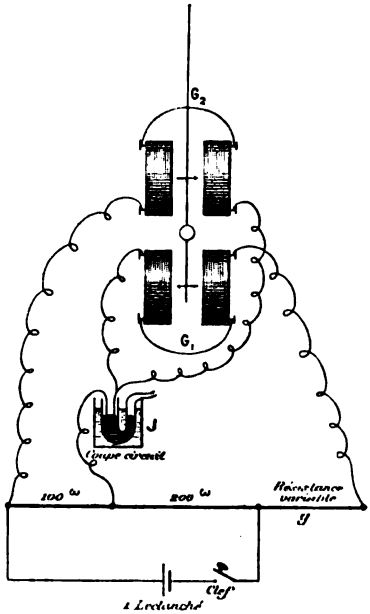
équations qui donnent G_1 et G_2.

Le coupe-circuit J a une disposition particulière que montre la *fig.* 9, afin d'éviter toute force électromotrice thermo-électrique.

Digitized by Google

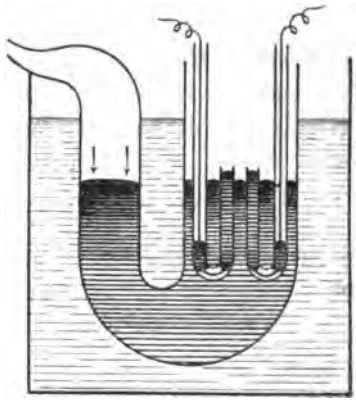
Le circuit est fermé par un contact mercure-mercure entre

Fig. 8.



les petites branches des tubes en J, qui communiquent électri-

Fig. 9.



quement avec le mercure des grandes branches par le moyen

Digitized by Google

d'un fil de platine soudé dans le verre et traversant la courbure du J (¹).

Les expériences.

Une expérience complète, avec toutes les mesures accessoires, dure près de deux heures, dont la moitié est employée à la partie principale : établir l'équilibre du différentiel pour les décharges périodiques du condensateur.

On commence par mettre en activité tout le dispositif, dynamo, pendules, lampes; et, quelques minutes après, on procède à un premier enregistrement du temps.

Ceci fait, on passe à l'expérience principale, que l'on répète deux ou trois fois, pour des vitesses variant du simple au double. Après chaque mesure, et pour la même vitesse, on fait la détermination des capacités parasites.

Aussitôt après, on enregistre à nouveau la seconde des deux horloges.

Sans rien arrêter, la dynamo et les lampes à incandescence continuant à fonctionner, on fait la détermination de la constante k du galvanomètre : on pourrait se tromper de $\frac{1}{5000}$ si l'on arrêtait la dynamo.

C'est maintenant le tour des résistances : on mesure d'abord G_1 et G_2; puis on compare l'ohm étalon aux résistances du pont à décades auxquelles sont rapportées toutes les autres; on détermine enfin la valeur du mégohm, et l'on en profite pour contrôler l'isolement du condensateur et du commutateur (²).

Entre temps on a fait, à la machine à diviser, les pointés nécessaires pour déterminer la distance des armatures du condensateur.

Il a été fait cinq séries de mesures. Entre les séries II et III, on a démonté le commutateur; avant la série IV, on a visité le galvanomètre, retiré et retourné ses bobines, déréglé son horizontalité et changé tous les fils de communication. Pour la dernière

(¹) J'emprunte la description de ce coupe-circuit à un travail antérieur, fait en collaboration avec M. Chassagny.

(²) En les mettant en dérivation sur le mégohm, dont la conductibilité ne doit pas être modifiée.

Digitized by Google

série, on a utilisé un autre condensateur de même type que le nôtre, et qui avait été construit pour le laboratoire de M. Bouty. Ces dernières expériences ont été faites en doublant le voltage de la pile de charge.

Comme toutes ces mesures étaient concordantes, on s'en est tenu là.

Résultats.

Voici maintenant le Tableau des résultats numériques obtenus :

Série I (27 avril 1892).....	299,23	10^8
	299,20	»
	299,13	»
Série II (28 avril 1892).....	299,18	»
	299,04	»
	299,24	»
Série III (30 avril 1892).....	299,29	»
	299,44	»
	299,35	»
Série IV (2 mai 1892).....	299,15	»
	299,40	»
	299,41	»
Série V (21 mai 1892).....	299,06	»
	299,06	»
Moyenne.....	**299,2.10⁸**	

Cette valeur me paraît devoir être exacte au $\frac{1}{1000}$.

Digitized by Google

Une nouvelle méthode astrophotométrique (¹);

par MM. E. Lagrange et P. Stroobant.

I. *Historique.* — Le problème de la détermination de l'intensité lumineuse absolue des étoiles est nécessairement des plus complexes; sa solution dépend de la connaissance d'un grand nombre de facteurs, parmi lesquels nous pouvons citer principalement l'absorption qu'exercent l'atmosphère terrestre et la distance qui nous sépare de ces astres. Or, pour ne parler que de cette dernière, elle n'est connue, et cela dans des limites d'approximation assez larges, que pour quelques étoiles, celles qui possèdent une parallaxe sensible.

Le nombre en est assez restreint : il est d'environ quarante.

Pour les autres étoiles, le problème photométrique se présente sous une face différente. Il ne peut plus être question ici de déterminer l'intensité absolue, mais seulement le rapport de ce que nous appellerons l'*éclat* d'une étoile avec celui d'une autre, qui aura été choisie comme type de comparaison. Cette recherche est d'ailleurs déjà du plus haut intérêt, car les nombres obtenus peuvent servir de base à des études de nature très diverse.

Les anciens astronomes s'étaient occupés de ces déterminations d'éclat relatif, mais d'une manière tout à fait empirique et grossière. Ptolémée rangeait les étoiles dans un certain nombre de classes de *grandeurs* différentes, et entendait par ce mot *grandeur* l'éclat que les étoiles présentent à l'œil nu. Ce terme, qui peut prêter à confusion, tend à être remplacé aujourd'hui par le mot *magnitude*.

Lorsque la lunette eut été, sinon inventée, du moins pourvue d'un grossissement suffisant par Galilée, on la dirigea vers le ciel, où elle fit découvrir des milliers d'étoiles nouvelles que l'œil ne pouvait apercevoir. En même temps, le nombre des magnitudes s'accrut, et chacune d'elles fut subdivisée en un certain nombre

(¹) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique,* 3e série, t. XXIII, n° 6, p. 811-827; 1892.

Digitized by Google

de fractions. Ptolémée rangeait les étoiles en six classes de magnitudes décroissantes; à partir de Galilée, il y en eut douze et leur nombre s'est encore accru depuis, avec le progrès des instruments d'optique.

L'apparition des méthodes photométriques pour mesurer l'éclat relatif des étoiles ou des astres du système solaire ne date que de la fin du XVIIe siècle. Nous rappellerons en peu de mots les principales méthodes proposées, en nous restreignant à celles qui ont été suivies d'applications et qui ont donné des résultats d'une certaine valeur.

L'idée la plus simple qui se présentait à l'esprit pour obtenir le rapport numérique entre les éclats de deux étoiles ou d'une étoile et du Soleil ou de la Lune était d'employer des diaphragmes appropriés. Huygens (1698) (1), par exemple, voulant déterminer l'éclat relatif de Sirius et du Soleil, diaphragmait circulairement celui-ci, jusqu'à obtenir l'égalité d'éclat. Un procédé semblable fut employé par de Humboldt (1802) (2), Reissig (1808) (3) et W. Herschel (1817) (4). On peut aussi éteindre les étoiles séparément en employant des diaphragmes de plus en plus étroits et comparer leur éclat par les surfaces limites de ces diaphragmes. C'est ce que fit Vidal (1805) (5). Nous pouvons rattacher à ces procédés celui préconisé par Knobel (6), qui emploie un diaphragme triangulaire et équilatéral à surface variable. John Herschel a remarqué que la présence d'un diaphragme affectant cette forme donne aux étoiles un aspect particulier : elles prennent l'apparence d'un petit disque bien net d'où partent six rayons fort réguliers et faisant entre eux un angle de 60°.

Sir J. Herschel (1847) (7) employa, au Cap de Bonne-Espérance, un photomètre, qu'il appelle assez improprement *astromètre*, et fondé sur un principe un peu différent. Il compare l'éclat d'une

---

(1) HUYGENS, *Opera varia*, t. II, p. 718. Lyon, 1724.
(2) A. DE HUMBOLDT, *Connaissance des Temps*, p. 414; 1804.
(3) REISSIG, *Berliner astr. Jahrbuch*, p. 272; 1811.
(4) W. HERSCHEL, *Philosoph. Transactions*, p. 302; 1817.
(5) VIDAL, *Connaissance des Temps*, p. 334; 1807.
(6) KNOBEL, *Monthly Notices*, t. XXXV, p. 100.
(7) J. HERSCHEL, *Results of astronomical observations made at the Cape of Good Hope*, 1847.

Digitized by Google

étoile à celui d'une image de la Lune ou de Jupiter, ramenée à un point lumineux, au moyen d'une lentille à court foyer; l'observateur s'écarte ou s'approche de cette image, jusqu'à ce que son éclat lui paraisse égal à celui de l'étoile. Si l'on fait cette observation pour deux étoiles, leur intensité relative est en raison inverse des carrés des distances de l'œil au foyer de la lentille, au moment où l'on apprécie l'égalité d'éclat entre chacune des étoiles et l'image de comparaison. De l'aveu même de Herschel, cette méthode est d'une application extrêmement difficile.

Steinheil (1836) (1) modifia la méthode de J. Herschel et construisit un photomètre à prismes, qui repose sur les deux principes suivants : l'éclat relatif des étoiles y est déterminé sans passer par une étoile artificielle, et en second lieu on y compare non pas directement l'éclat de deux points lumineux, mais bien celui de deux surfaces lumineuses finies.

Les images des deux étoiles à comparer sont produites par les deux moitiés séparées de l'objectif, vers lesquelles leur lumière est ramenée par deux prismes. En faisant mouvoir les deux moitiés de l'objectif dans le sens de l'axe de l'instrument, on amène les deux images à l'égalité d'éclat. Le rapport des éclats est inverse de celui des carrés des déplacements.

Le photomètre de Steinheil ne peut pas être d'un usage général; les prismes nécessaires pour amener la lumière des étoiles dans l'instrument sont absorbants, et inégalement pour les deux étoiles. A ce dernier point de vue, il paraît toujours préférable d'avoir recours à un procédé de comparaison à une étoile artificielle, en supposant, bien entendu, que cette source puisse être considérée comme constante ou que l'on possède le moyen de tenir compte de sa variation d'intensité lumineuse.

C'est ce que Zöllner (1861) (2) a cherché à réaliser dans son astrophotomètre. Le premier modèle de cet instrument emploie, comme source lumineuse artificielle constante, une lampe à gaz qui brûle un mélange de composition définie, s'échappant à une

---

(1) Von Steinheil, *Abhandl. der math. physik. Classe des Baier. Akademie des Wissenschaften*, t. II, p. 24.

(2) Zöllner, *Grundzüge einer allgemeinen Photometrie der Himmels.*

Digitized by Google

pression donnée d'un orifice de section constante. La hauteur de la flamme est contrôlée au moyen d'une lunette.

Cette source artificielle est placée sur le côté d'une lunette astronomique dont la paroi, percée d'une ouverture circulaire, porte un tube contenant trois nicols et une lentille. Un miroir de verre transparent est fixé sur l'axe de la lunette et incliné à 45° sur cet axe. On peut obtenir ainsi, à la même distance que celle de l'image d'une étoile vue directement, l'image d'un diaphragme placé vis-à-vis de la source lumineuse. Le premier nicol polarise la lumière de cette source; au moyen du second, qui est mobile, on amène l'éclat du diaphragme à égaler celui de l'étoile, et, comme l'on mesure la rotation du nicol, on peut arriver ainsi à comparer les éclats de deux étoiles. Le troisième nicol sert à dépolariser les rayons émergents des deux premiers et que la réflexion sur le miroir transparent polarise toujours un peu.

En 1865, Zöllner fit connaître une autre disposition photométrique, qui différait de la précédente en ce que la source artificielle était une lampe à pétrole; les lumières émises par l'étoile et la source étaient, par réflexion, polarisées à angle droit, et un nicol placé devant l'oculaire amenait, par sa rotation, les deux demi-champs de la lunette à la même intensité lumineuse.

Zöllner est un des premiers astronomes dont les méthodes photométriques aient servi de base à un véritable catalogue d'étoiles; lui-même et d'autres, tels que Rosen (1869) (1), Lindemann (1873) (2), ont fait un usage étendu de cet instrument. D'autres savants, tels que Seidel (1867) et Leonhard (3), ont donné des mesures faites avec l'appareil de Steinheil.

Après Zöllner, l'astronome qui s'est le plus occupé de photométrie est Pickering (4), directeur de l'Observatoire de Harvard College. Il a entrepris, en 1877 particulièrement, une série d'observations sur les étoiles doubles et la lumière des planètes; il se servit, à cette occasion, d'un certain nombre de photomètres dont les

---

(1) Rosen, *Studien und Messungen an einem Zölln. Astrophotom.* (*Bull. Acad. des Sciences de Saint-Pétersbourg*, t. XIV, p. 95; 1870).

(2) Lindemann, *Obs. au photomètre de Zöllner* (*Ibid.*, t. XVIII, p. 31; 1874).

(3) *Abhandl. der math. Classe der Baier. Akad.* Munich, t. X, p. 201; 1870.

(4) Pickering, *Annals of the astronomical observatory of Harvard College*, t. XI, Part I, 1879, et t. XIV, Part I, 1884.

Digitized by Google

principes ne diffèrent pas essentiellement de ceux des instruments que nous avons eu à citer jusque maintenant.

Le premier photomètre employé par lui consistait en un nicol attaché à un prisme biréfringent et pouvant tourner autour de son axe. Lorsque deux objets lumineux sont vus au travers de cet instrument, on obtient dans le prisme deux images de chacun d'eux; en tournant le nicol, on peut toujours ramener à l'égalité d'éclat deux images de deux étoiles nécessairement voisines. M. Pickering a étudié avec beaucoup de soin l'influence que les positions respectives du prisme et du nicol, par rapport à l'objectif et à l'oculaire, peuvent avoir sur l'absorption.

En 1878, M. Pickering imagina un spectro-photomètre basé sur le même principe.

Tous ces photomètres sont soumis à l'inconvénient d'une absorption énorme qui monte jusqu'à 60 pour 100. M. Pickering a, pour éviter cet inconvénient, disposé un autre instrument qui repose sur le principe de l'étoile artificielle. L'image d'une étoile brillante est produite dans le télescope au moyen d'une petite lunette perpendiculaire à l'axe et de deux prismes, de manière à venir se placer côte à côte avec l'image de l'étoile faible dont on veut déterminer l'éclat. On diminue l'éclat de l'étoile brillante au moyen d'un diaphragme, jusqu'à obtenir l'égalité.

De 1879 à 1882, M. Pickering a effectué, au moyen d'une lunette méridienne, la comparaison des éclats de quatre mille étoiles du ciel boréal, toutes d'une magnitude comprise entre la première et la sixième.

Comme dans ses précédentes observations, il n'a pas recouru à une source de lumière artificielle. Il a pris comme étoile étalon, lorsqu'il le pouvait, α *Ursæ minoris,* et, dans tous les cas, une étoile. Le photomètre qu'il employait consistait en une lunette horizontale à deux objectifs égaux, devant lesquels sont placés deux prismes qui y renvoient la lumière de α *Ursæ minoris,* et de l'étoile à mesurer. Les deux faisceaux émergents rencontrent un prisme biréfringent, et l'on use encore d'un nicol comme précédemment.

Enfin, en 1882, M. Pickering a fait connaître la nouvelle forme qu'il donne à son photomètre : les deux prismes y sont remplacés

Digitized by Google

par deux miroirs; l'auteur propose d'employer comme étoile de comparaison λ *Ursæ minoris*.

En 1881, M. Pritchard [1], professeur d'Astronomie à Oxford, proposa l'emploi d'un nouvel instrument, dont voici le principe :

Lorsque la lumière traverse un milieu homogène, elle subit une absorption croissante avec l'épaisseur du milieu et qui répond à une loi exponentielle : Si L, L′ sont les intensités incidentes et émergentes d'un faisceau de lumière qui traverse normalement un milieu à faces parallèles dont l'épaisseur est τ, on a

$$\log \frac{L}{L'} = K\tau.$$

Si l'on adopte une valeur ρ pour le rapport de deux magnitudes consécutives, on pourra déterminer en « magnitudes » l'absorption de lumière dans un milieu, en posant

$$\log \frac{L_n}{L_{n+x}} = K\tau = \log \rho^x,$$
$$x = \frac{K}{\log \rho}\tau.$$

Cette variation en magnitude x est proportionnelle à τ. Le photomètre se compose donc d'un prisme de teinte neutre auquel est accolé un prisme identique en verre blanc; les deux prismes forment un parallélépipède qui glisse devant l'oculaire. On amène successivement les deux étoiles à comparer à l'extinction et l'on peut démontrer facilement que, dans ces conditions, le déplacement du parallélépipède est proportionnel à la différence des magnitudes des deux étoiles.

M. Pritchard détermine la constante de proportionnalité en réduisant dans le rapport de 4 à 1, au moyen de diaphragmes convenables, la lumière envoyée par une étoile.

La valeur de ρ qu'il adopte est celle de Pogson, soit 2,512. M. Pritchard a publié, en 1885, le résultat des observations d'étoiles qu'il a faites à l'Observatoire de l'Université d'Oxford, à l'aide de cet instrument [2].

---

[1] *Monthly Notices*, t. XLII, p. 1.

[2] *Uranometria nova Oxoniensis* (*Astronomical Observations made at the University Observatory Oxford*, n° II).

Digitized by Google

Il nous reste à citer deux méthodes photométriques reposant sur des principes tout à fait différents des précédents.

C'est tout d'abord, en date, une méthode signalée par le professeur Ch.-V. Zenger (1), de Prague, et qui consiste à mesurer l'éclat relatif des étoiles par le temps qu'elles mettent à devenir visibles au crépuscule.

Enfin M. Wilson a proposé récemment un procédé de détermination photométrique basé sur la Photographie (2).

Son appareil se compose d'une plaque située dans un télescope photographique, dirigé vers l'étoile dont on veut déterminer l'éclat. La durée de pose est de 100^s; la plaque se déplace ensuite de $\frac{1}{10}$ de pouce, et une seconde pose d'une durée de 63^s a lieu. On continue à déplacer la plaque en diminuant la durée de la pose jusqu'à 1^s. Le télescope est ensuite dirigé vers une étoile étalon, la Polaire par exemple; la plaque est replacée dans sa position primitive et une seconde série d'images, parallèle à la première, est produite sur la couche sensible. Le nombre relatif d'images des deux étoiles donne la magnitude à 0,5.

Il est évident que les résultats obtenus par cette méthode sont entachés d'erreurs provenant de la différence de pouvoir photogénique d'étoiles de même éclat. D'autres causes d'erreurs systématiques peuvent se manifester également. Ainsi, M. Kapteyn (3) a montré que l'effet actinique est considérablement plus grand pour les étoiles situées dans la Voie lactée ou dans son voisinage que pour celles dont la latitude galactique est élevée.

II. *Description et emploi de l'appareil.* — Le photomètre dont nous proposons l'emploi se compose essentiellement d'une lunette astronomique munie d'un oculaire à long foyer et donnant, par conséquent, un faible grossissement. On produit dans le champ de la lunette et près de l'astre dont on veut déterminer l'éclat une étoile artificielle exactement semblable à celle que l'on observe.

---

(1) Zenger, *Monthly Notices*, t. XXXVIII, p. 65.

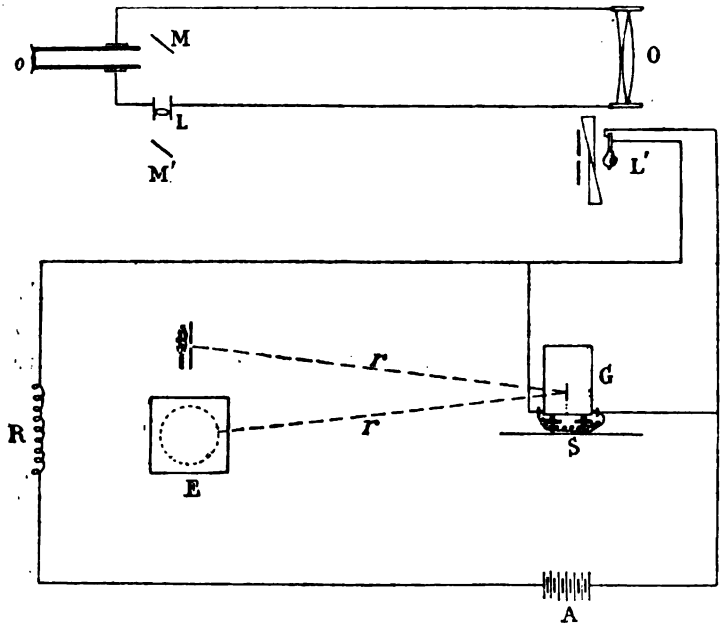
(2) *A new photographic Photometer for determining star magnitudes* (*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, t. LII, p. 153; janvier 1892.

(3) Académie des Sciences d'Amsterdam (séance du 2 avril 1892). *Revue générale des Sciences* du 30 avril.

Digitized by Google

A cet effet, à l'intérieur de l'instrument se trouve placé un petit miroir métallique M (*fig.* 1), faisant un angle de 45° avec l'axe

Fig. 1.



o, oculaire.	R, rhéostat.
O, objectif.	G, galvanomètre.
M, M', miroirs métalliques.	S, shunt.
L, lentille.	E, enregistreur photographique.
L', lampe.	*r*, rayon lumineux.
A, accumulateurs.	

de la lunette. Il est destiné à réfléchir les rayons lumineux émergeant d'une lentille fort convergente L, en face de laquelle est disposé un second miroir métallique M' faisant également un angle de 45° avec l'axe de la lunette.

Près de l'objectif O se trouve placée une lampe à incandescence L' dont le filament est situé à la même distance de l'axe optique que le centre du miroir M'. Les rayons lumineux émanant de la lampe sont donc réfléchis vers l'oculaire O de la lunette. Près de cette lampe est disposé un diaphragme-iris, permettant de donner à l'étoile artificielle la grandeur voulue.

Digitized by Google

La lentille L est placée de manière que l'image de cette ouverture vienne se former au foyer principal de l'objectif. Entre le diaphragme et la lampe, sont disposés deux prismes à angle très aigu et pouvant glisser l'un sur l'autre; on peut donc ainsi, à volonté, augmenter ou diminuer l'épaisseur de verre traversée par les rayons lumineux et, par conséquent, régler l'intensité lumineuse de l'astre artificiel auquel on compare l'étoile.

La lentille L et l'oculaire O constituent une lunette astronomique, mais qui diminue dans de fortes proportions la grandeur des objets. Nous avons réussi à réaliser par ce procédé, à l'aide d'un instrument que nous avons fait construire au laboratoire de Physique de l'École militaire, de belles images d'étoiles artificielles. Les essais que nous avons faits nous permettent d'espérer de bons résultats de notre méthode.

Le petit miroir M est mobile, ce qui permet de placer l'astre artificiel dans une position quelconque par rapport à l'image de l'étoile. Cette disposition est importante, car on sait que M. Pickering a trouvé que le résultat de la comparaison de l'éclat de deux étoiles dépendait de leurs positions respectives.

Une chose essentielle dans le genre de mesures qui nous occupe est la constance de l'intensité lumineuse de la lampe qui sert de point de comparaison. La lampe à incandescence dont nous nous sommes servis fonctionne normalement avec une différence de potentiel de 8 volts aux bornes. Nous nous sommes proposé de rechercher la loi de variation de l'intensité lumineuse de la source, lorsque la différence de potentiel venait à se modifier. Les expériences exécutées dans ce but ont été faites au laboratoire de Physique de l'Université de Bruxelles, avec l'aide bienveillante de M. Rousseau.

La lampe électrique était comparée à une lampe étalon de Dumas, à l'aide d'un photomètre de Bunsen. La *fig.* 2 représente schématiquement le dispositif employé. L est la lampe, G un galvanomètre Deprez-d'Arsonval, A les accumulateurs, S le shunt du galvanomètre, R un rhéostat.

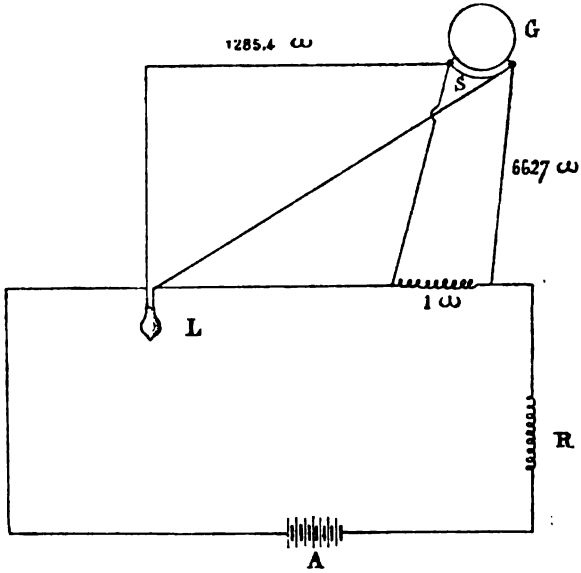
Le galvanomètre avait été préalablement gradué et, au moyen de dérivations prises sur la lampe et sur une résistance de 1 ohm placé dans le circuit de celle-ci, on pouvait déterminer la différence de potentiel aux bornes de la lampe et l'intensité du cou-

Digitized by Google

rant qui la traversait. Le galvanomètre permettait d'apprécier $\frac{1}{100}$ de volt et $\frac{1}{1000}$ d'ampère.

Pendant que l'un des observateurs mesurait l'éclat de la lampe,

Fig. 2.



L, lampe.	G, galvanomètre.
R, rhéostat.	S, shunt.
A, accumulateurs.	ω = 1 ohm.

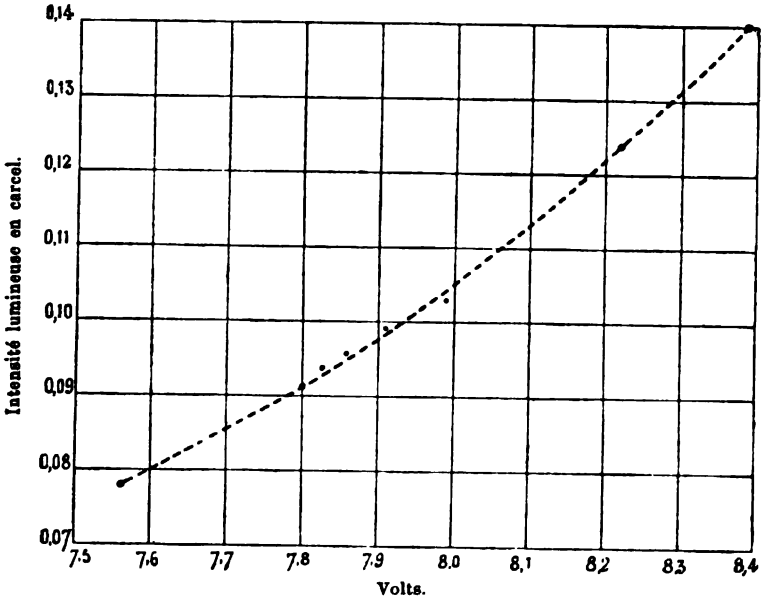
l'autre observait au galvanomètre la différence de potentiel et l'intensité du courant. Nous avons ainsi obtenu les nombres suivants (chacun d'eux est la moyenne de cinq mesures) :

Différence de potentiel.	Intensité du courant.	Intensité lumineuse de la lampe en carcel.
volts	amp	
7,56	0,650	0,078
7,80	0,673	0,091
7,83	0,676	0,094
7,86	0,677	0,096
7,91	0,681	0,099
7,99	0,681	0,103
8,22	0,719	0,124
8,39	0,732	0,140

Digitized by Google

La *fig.* 3 représente la loi de variation de l'intensité lumineuse de la lampe exprimée en carcels (lampe de Dumas) quand la différence de potentiel varie de 7,6 à 8,4 volts.

Fig. 3.



Dans le cours de nos expériences, nous avons constaté qu'avec le même régime cette différence de potentiel pouvait varier accidentellement jusqu'à $\frac{1}{10}$ de volt, ce qui entraîne une variation de 7 pour 100 dans l'intensité lumineuse de la lampe. Sans doute, en répétant suffisamment les observations pour chaque étoile, on pourrait espérer éliminer à peu près complètement l'effet de ces variations accidentelles; mais, pour des mesures de précision, nous croyons préférable de faire enregistrer d'une manière continue cette différence de potentiel à l'aide d'un galvanomètre Deprez-d'Arsonval, dont le miroir réfléchirait un faisceau lumineux qui viendrait se peindre sur une pellicule sensible. Cette disposition permettrait de corriger les mesures photométriques effectuées de manière à réduire à moins de 1 pour 100 l'effet des variations accidentelles survenant dans l'intensité lumineuse de la lampe.

Digitized by Google

Notre procédé photométrique permet de déterminer non seulement avec précision le rapport de l'éclat lumineux des différentes étoiles, mais encore d'évaluer la quantité de lumière que chacune nous envoie, ce qui constitue surtout l'avantage de notre méthode.

Pour arriver à cette détermination, supposons que l'on ait disposé une lampe Carcel, munie d'un diaphragme circulaire, à une certaine distance du photomètre. On fera varier la grandeur et l'éclat de l'astre artificiel jusqu'à ce que les deux images vues dans la lunette paraissent égales en éclat. Après avoir répété l'expérience un certain nombre de fois, on notera les valeurs moyennes trouvées pour l'ouverture du diaphragme-iris et l'épaisseur de verre traversée par les rayons lumineux. On fera ensuite varier la distance de la lampe Carcel et l'on répétera la même opération. On pourra ainsi faire une échelle de la quantité de lumière envoyée par les étoiles des différentes grandeurs exprimée en fonction de la carcel.

Il y aura peut-être lieu de tenir compte de l'absorption des rayons lumineux par l'air atmosphérique, lorsque la distance de la carcel au photomètre sera considérable.

On peut aussi aisément donner à l'étoile artificielle la même couleur qu'à l'astre observé, en plaçant près de la lampe électrique un verre coloré plus ou moins épais. La même coloration pourra toujours être donnée aux rayons lumineux émanant de la lampe Carcel à laquelle on compare en définitive l'astre dont on veut déterminer l'éclat. On ramène donc ainsi la détermination de la magnitude d'étoiles différemment colorées à la comparaison de l'éclat de deux sources lumineuses (carcel étalon et carcel diaphragmée) de couleurs différentes.

Enfin, il résulte de nos essais que, pour la facilité des comparaisons, il sera peut-être avantageux de diaphragmer l'objectif de la lunette et la lentille L, à l'aide d'une ouverture en forme de triangle équilatéral, ainsi que le propose M. Knobel.

Digitized by Google

Sur le pouvoir rotatoire moléculaire;

PAR M. G. WYROUBOFF.

Le pouvoir rotatoire qu'on constate dans les corps dont la forme cristalline a été détruite par la fusion ou la solution est un phénomène resté jusqu'ici absolument inexpliqué. Malgré de nombreuses recherches sur les corps actifs les plus variés, on n'a pu le rattacher à aucune propriété connue de la matière, encore moins trouver une loi quelconque, même approximative.

On sait seulement, depuis les classiques recherches de Biot, que la déviation du plan de polarisation se produit dans les corps cristallisés, aussi bien que dans les corps dissous, d'une façon identique, c'est-à-dire proportionnellement à l'épaisseur et à peu près en raison inverse de la longueur d'onde.

Cette première et importante généralisation indiquait bien le caractère du phénomène, mais ne donnait aucune notion sur sa nature. Fresnel en donna une théorie aussi simple qu'ingénieuse, qui a été longtemps considérée, du moins pour les corps cristallisés, comme une solution définitive du problème. Cette théorie demeure vraie au point de vue purement cinématique auquel elle s'était placée, mais ce point de vue est insuffisant lorsqu'il s'agit d'un phénomène physique aussi complexe. Pourquoi certains corps, appartenant à une certaine symétrie cristalline, sont-ils seuls doués du pouvoir rotatoire? Pourquoi ce pouvoir a-t-il le plus souvent des allures irrégulières et le rayon émergent est-il elliptique au lieu d'être rectiligne?

Dans un beau Mémoire qui a été l'objet de nombreuses controverses et dont les conclusions sont aujourd'hui à peu près universellement acceptées, M. Mallard a répondu de la façon la plus complète à ces questions. Il a montré que le pouvoir rotatoire des cristaux tenait à la discordance qui existait dans certains corps à formes limites, entre les propriétés optiques des molécules et les propriétés optiques du réseau suivant lequel ces molécules se disposaient. Il a été amené ainsi à formuler une interprétation physique du phénomène, aussi satisfaisante que possible, et j'ai fait voir par des observations précises que cette interprétation

Digitized by Google

était en tous points conforme aux faits (¹). Pour les corps cristallisés la question me paraît donc définitivement élucidée et le débat clos, mais elle reste entière, aussi obscure que par le passé, pour les corps dissous ou fondus. C'est qu'ici les difficultés sont bien plus grandes; il n'y a plus de particules cristallines, il n'y a plus de symétrie, plus de propriétés optiques connues qui puissent servir de point de départ pour les observations ou les raisonnements. Nous ne savons même pas si les corps dissous ne sont pas dissociés en leurs éléments chimiques irréductibles.

Ces difficultés, très réelles à coup sûr, lorsqu'il s'agit d'une théorie d'ensemble, ne doivent pas nous empêcher d'aborder la question par son côté accessible à l'expérience, et abstraction faite de la conception que nous pouvons avoir sur l'état des corps en solution. Nous pouvons chercher notamment, et c'est ce que j'ai essayé de faire, s'il n'existe pas une relation directe entre le pouvoir rotatoire des corps et quelque propriété connue des mêmes corps à l'état cristallisé.

L'idée fondamentale qui m'a guidé dans ces recherches est très simple. Puisque le phénomène obéit aux mêmes lois dans les solutions et dans les cristaux, et puisque dans ces derniers il dépend de la pseudosymétrie des polyèdres élémentaires qui occupent les nœuds du réseau cristallin, des particules semblables doivent avoir le même pouvoir rotatoire. Nous ne connaissons, il est vrai, à aucun degré ce que sont ces particules; mais nous pouvons supposer, sans faire une hypothèse bien hasardée, que deux corps qui sont semblables à l'état cristallisé sont formés de particules semblables et restent semblables une fois dissous.

Le problème se réduit ainsi à la détermination du pouvoir spécifique [α] dans des substances isomorphes. Il importe cependant de s'entendre sur le sens que nous donnerons ici au mot *isomorphisme*. Le pouvoir rotatoire, étant une conséquence de la biréfringence, dépend par conséquent de la position et de la forme de l'ellipsoïde d'élasticité, bien plus que de la forme et des dimensions du réseau cristallin qui n'est soumis qu'à la condition

(¹) *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. VIII, p. 340; 1886.

Digitized by Google

d'avoir une forme limite. Or un grand nombre des corps les plus strictement isomorphes ont des propriétés optiques très différentes, leur isomorphisme étant géométrique, non optique. Pour comparer utilement les pouvoirs rotatoires, il nous faudra donc choisir les substances qui possèdent non seulement des formes analogues, mais encore des propriétés optiques aussi semblables que possible.

Mais cette condition n'est pas la seule qu'on doive prendre en considération.

Deux corps semblables à tous égards, lorsqu'ils sont cristallisés, peuvent devenir très différents lorsqu'ils sont dissous. L'un d'eux peut, par exemple, être dimorphe sans que l'autre le soit, ou bien encore, ce qui est le cas fréquent, être susceptible de former plusieurs hydrates, tandis que l'autre n'en présente qu'un seul à toutes les températures. Cette seconde condition, qu'on a complètement négligée jusqu'ici, est capitale, et aucune comparaison ne peut être tentée si l'on ne s'est assuré au préalable que les deux solutions renferment bien les corps isomorphes que l'on a dissous.

Une étude semblable n'a pas été faite même pour les substances les mieux connues au point de vue de leur activité optique. Il m'a donc fallu faire cristalliser, dans les conditions les plus variées, une grande quantité de corps actifs pour arriver à les classer dans quatre groupes distincts.

I. Le premier groupe, qui comprend les corps géométriquement et optiquement isomorphes tant à l'état cristallisé qu'à l'état de solution, est malheureusement assez restreint jusqu'ici, mais les résultats qu'il fournit sont on ne peut plus nets.

J'en citerai quelques exemples pris parmi les corps isomorphes de genres très divers.

1. Sels différant entre eux par l'acide :

Sulfate de strychnine + $6H^2O$ ..... $[\alpha]_j = -27°,4$,
Séléniate de strychnine + $6H^2O$ ..... $[\alpha]_j = -26°,9$.

Lorsqu'on dissout ces deux sels dans l'alcool faible, ils donnent des hydrates à $5H^2O$ pour lesquels on a :

Sulfate de strychnine + $5H^2O$ ..... $[\alpha]_j = -15°,6$
Séléniate de strychnine + $5H^2O$ ..... $[\alpha]_j = -17°,2$

Digitized by Google

Dans un autre ordre d'alcaloïdes, on trouve :

Sulfate neutre de cinchonine $+ 2H^2O$	$[\alpha]_j = +167°$
Séléniate neutre de cinchonine $+ 2H^2O$	$[\alpha]_j = +165°,5$

ou bien encore

Chlorhydrate de cinchonidine $+ CH^4O$	$[\alpha]_j = -102°,8$
Bromhydrate de cinchonidine $+ CH^4O$	$[\alpha]_j = -101°,1$

2. Sels dont la molécule chimique restant la même est engagée dans deux combinaisons moléculaires différentes, telles qu'un hydrate et un alcoolate, ou deux alcoolates différents. On trouve dans cet ordre de corps isomorphes :

Iodhydrate de cinchonidine $+ \frac{2}{3}H^2O$	$[\alpha]_j = -90°$
Iodhydrate de cinchonidine $+ CH^4O$	$[\alpha]_j = -88,7$
Bromhydrate de cinchonidine $+ CH^4O$	$[\alpha]_j = -101,1$
Bromhydrate de cinchonidine $+ \frac{2}{3}H^2O$	$[\alpha]_j = -98,8$
Quinidine $+ C^2H^6O$	$[\alpha]_j = +235,3$
Quinidine $+ CH^4O$	$[\alpha]_j = +236,1$
Bromhydrate de cinchonine $+ H^2O$	$[\alpha]_j = +149,2$
Bromhydrate de cinchonine $+ \frac{1}{2}C^2H^6O$	$[\alpha]_j = +148,7$

3. Sels dans lesquels la différence porte en même temps sur la molécule chimique et la combinaison moléculaire. Telle est la série des trois sels que j'ai déjà cités :

Chlorhydrate de cinchonidine $+ CH^4O$	$[\alpha]_j = -102°,8$
Bromhydrate de cinchonidine $+ CH^4O$	$[\alpha]_j = -101,1$
Bromhydrate de cinchonidine $+ \frac{2}{3}H^2O$	$[\alpha]_j = -98,8$

II. Le second groupe comprend les corps qui ne sont que géométriquement isomorphes et dont les ellipsoïdes optiques sont différents, soit par leur orientation, soit par leurs dimensions.

On trouve, par exemple,

Sulfate acide de quinine $+ 7H^2O$	$[\alpha]_j = -171°,5$
Séléniate acide de quinine $+ 7H^2O$	$[\alpha]_j = -155°,8$

ou bien

Chlorhydrate de cinchonine $+ CH^4O$	$[\alpha]_j = +175°,6$
Bromhydrate de cinchonine $+ CH^4O$	$[\alpha]_j = +160°,4$

Digitized by Google

III. Dans le troisième groupe se rangent les corps parfaitement isomorphes mais dont les solutions ne sont pas comparables entre elles, car l'une d'elles renferme plusieurs hydrates :

Quinidine $+ \frac{1}{3} C^6 H^6$ ..... $[\alpha]_j = + 194°,0$
Quinidine $+ \frac{1}{3} C^4 H^{10} O$ ..... $[\alpha]_j = + 254°,5$

Les cristaux qui se déposent de la benzine ou de l'éther sont tout à fait identiques, mais la solution dans la benzine lorsqu'elle est très concentrée donne d'abord des cristaux anhydres qu'on n'obtient jamais de la solution éthérée. La solution dans la benzine contient donc deux corps différents, et évidemment d'autant plus du corps à $\frac{1}{3} C^6 H^6$ qu'elle est moins concentrée. Le chiffre donné ci-dessus se rapporte à une concentration de 0,5 pour 100 environ. Pour une concentration de 0,8 pour 100, on a

$$[\alpha]_j = + 185°,3;$$

pour une concentration de 0,2 pour 100, on a

$$[\alpha]_j = + 226°,$$

beaucoup plus voisin du pouvoir spécifique du corps éthéré.

Le chlorhydrate et le bromhydrate de cinchonine cristallisés dans l'alcool absolu donnent des cristaux géométriquement et optiquement isomorphes renfermant $\frac{1}{2} C^2 H^6 O$. On a pour ces cristaux :

Chlorhydrate de cinchonine $+ \frac{1}{2} C^2 H^6 O$ ..... $[\alpha]_j = + 173°,3$
Bromhydrate de cinchonine $+ \frac{1}{2} C^2 H^6 O$ ..... $[\alpha]_j = + 148°,7$

Mais la solution du chlorhydrate dépose suivant sa concentration et suivant qu'on opère par refroidissement ou par évaporation, deux sortes de cristaux, les uns renfermant une molécule, les autres une demi-molécule d'alcool. Le pouvoir rotatoire du chlorhydrate doit donc diminuer par la concentration. C'est, en effet, ce que l'on observe.

IV. J'ai examiné enfin quelques cas de corps ayant une composition chimique analogue, mais ne présentant entre eux aucun isomorphisme. Tels sont les bromhydrate et iodhydrate de cin-

Digitized by Google

chonine cristallisant tous les deux avec une molécule d'eau, mais le premier étant ortho, le second clinorhombique. On trouve :

Bromhydrate de cinchonine + H^2O..... $[\alpha]_j = +149°,2$
Iodhydrate de cinchonine + H^2O..... $[\alpha]_j = +132°,2$

De tous ces faits, il me semble résulter très clairement que, *seuls, les corps géométriquement et optiquement isomorphes possèdent des pouvoirs rotatoires sensiblement égaux.*

La polarisation rotatoire est donc une propriété qui dépend du réseau de la particule cristalline, non de la constitution de la molécule chimique.

Il suit de là que ce sont ces particules, relativement très complexes, qui existent en solution ; que, par conséquent, ni la molécule chimique, ni même les combinaisons moléculaires, comme les hydrates, ne sont dissociés en solution, ainsi que le veut une théorie fort à la mode aujourd'hui.

Je ferai remarquer, en terminant, que cette manière de concevoir les choses supprime d'un coup toutes les anomalies si singulières que l'on observe dans les corps actifs. On comprend très bien, en effet, qu'une substance qui, comme la quinidine, forme une combinaison moléculaire avec son dissolvant, donne des pouvoirs rotatoires variables dans différents liquides; que la valeur de $[\alpha]$ reste au contraire constante pour une substance qui, comme la cinchonidine, reste toujours anhydre. On s'explique aussi parfaitement les variations parfois énormes du pouvoir rotatoire avec la concentration de la solution, ou avec la température pour une même solution. Ces variations ne se présentent que dans les substances qui forment avec leur dissolvant plusieurs combinaisons moléculaires, par conséquent plusieurs corps distincts ayant chacun leur pouvoir rotatoire propre. Les corps qui se présentent toujours à l'état anhydre, ou qui ne possèdent qu'un seul hydrate, ont le même pouvoir rotatoire, quelle que soit la concentration de leur solution, et quelle que soit la température à laquelle on opère.

Digitized by Google

SÉANCE DU 2 DÉCEMBRE 1892.

PRÉSIDENCE DE M. LIPPMANN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. LAPRESTÉ, Professeur au Lycée Buffon, à Paris.
LE BEL (J.-A.), Président de la Société chimique de Paris.
MAQUELIN (Hippolyte), Trésorier de la Caisse d'Epargne à Sézanne (Marne).

M. le PRÉSIDENT annonce les pertes douloureuses que la Société vient de faire dans les personnes de M. *Chauvin*, maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Toulouse, et M. *Victor Lefebvre*, constructeur d'instruments pour les Sciences, à Paris.

M. P. CURIE rappelle qu'il s'est servi pendant cinq à six ans, dans des recherches qu'il a faites en collaboration avec son frère, d'un condensateur à anneau de garde en glace argentée semblable à celui présenté par M. Abraham dans la dernière séance de la Société (voir J. CURIE, *Comptes rendus de l'Académie*, 1886, et journal *La lumière électrique*, 1888).

Cet instrument, qui avait été construit par M. Werlein, était utilisé dans des recherches d'électricité statique. L'appareil réalise presque rigoureusement le condensateur théorique, puisque l'anneau de garde n'est séparé de la portion centrale utilisée dans les mesures que par un trait très fin dans l'argenture; seulement la portion centrale est mal isolée et, quand l'air n'est pas parfaitement desséché, une petite force électromotrice se manifeste entre l'anneau de garde et la portion centrale. Pour éviter cet inconvénient, MM. Curie reliaient à l'électromètre le plateau continu du condensateur, chargeaient la portion centrale de l'autre plateau avec la pile et laissaient l'anneau de garde en relation avec la terre. Dans ces conditions, le champ n'est plus uniforme, mais la quantité d'électricité condensée est la même en vertu d'un théorème connu d'électrostatique. L'isolement est alors parfait : les cales en quartz parallèles qui séparent les deux plateaux sont, en effet, peu conductrices et peu hygrométriques. M. Curie pense que l'on pourrait employer avec avantage une disposition de ce genre pour l'électromètre absolu. On soutiendrait le plateau continu à l'aide d'une balance de précision à microscope et à micromètre. Le premier plateau serait constamment relié à la terre, l'autre plateau serait placé au-dessous. La portion centrale serait portée à un certain potentiel, l'anneau de garde étant à terre. La force qui semble à première vue devoir être fort différente de celle donnée dans la disposition ordinaire doit, au contraire, différer fort

Digitized by Google

peu de celle-ci, et l'on pourrait déterminer exactement par expérience le petit terme de correction nécessaire.

L'électromètre sphérique de M. Lippmann se prêterait à une transformation du même genre. On séparerait, au point de vue électrique, la sphère métallique extérieure en deux moitiés. La sphère métallique intérieure serait soutenue à l'aide d'un fil métallique à l'extrémité du fléau d'une balance. La sphère intérieure et une des moitiés de la sphère extérieure étant au potentiel zéro, si l'on portait l'autre moitié de la sphère extérieure au potentiel V, on aurait une force verticale agissant sur la sphère intérieure donnée par la formule

$$F = \frac{3}{8} \frac{\rho}{R - \rho} \frac{R^3}{R^3 - \rho^3} V^2,$$

R et ρ étant les rayons des deux sphères.

Pour établir cette formule, il faut calculer la dérivée $\frac{dC}{de}$, C étant la capacité d'une des moitiés de la grande sphère, *de* un déplacement vertical de la sphère intérieure. Ce calcul se fait à l'aide des images électriques en suivant la méthode de Murphy.

M. Abraham n'avait pas eu connaissance de l'existence du condensateur signalé par M. Curie. Il savait seulement que M. Lippmann a proposé, en 1887, l'emploi d'un condensateur en glace argentée. Enfin la méthode qu'il a donnée pour la mesure précise de la distance des plateaux lui est bien personnelle. M. Abraham explique que la conductibilité due à l'humidité n'a pu en rien troubler ses mesures.

M. Curie pense également que ces causes d'erreurs qu'il a signalées et qui sont très sensibles dans les expériences avec l'électricité statique, ne pouvaient pas produire d'action nuisible dans les expériences de M. Abraham.

M. Lippmann présente à la Société les photographies colorées du spectre sur couches bichromatées.

On sait qu'une couche sèche d'albumine ou de gélatine bichromatée est modifiée par la lumière : la matière organique devient moins hygrométrique. La plupart des procédés d'impression photomécanique employés dans l'industrie sont fondés sur cette action de la lumière.

Une couche d'albumine (ou de gélatine) bichromatée, coulée et séchée sur verre, est exposée à la chambre noire, adossée à un miroir de mercure. Il suffit ensuite de la mettre dans de l'eau pour voir apparaître les couleurs; ce lavage à l'eau pure, en enlevant le bichromate, fixe l'épreuve en même temps qu'il la développe. L'image disparaît quand on sèche la plaque, pour reparaître chaque fois qu'on la mouille de nouveau.

Les couleurs sont très brillantes; on les voit sous toutes les incidences,

Digitized by Google

c'est-à-dire en dehors de l'incidence de la réflexion régulière. En regardant la plaque par transparence, on voit nettement les complémentaires des couleurs vues par réflexion.

La gélatine bichromatée se comporte de même, sauf que les couleurs apparaissent à leur place, non quand la plaque est mouillée en plein, mais quand on la rend légèrement humide en soufflant à sa surface.

La théorie de l'expérience est facile à faire. Comme dans le cas des couches sensibles contenant un sel d'argent, le miroir de mercure donne lieu, pendant la pose, à une série de maxima et de minima d'interférence. Les maxima seuls impressionnent la couche, qui prend, par suite, une structure lamellaire et se divise en couches alternativement gonflables et non gonflables par l'eau. Tant que la plaque est sèche, on n'aperçoit pas d'image. Mais, dès que l'eau intervient, les parties de la couche non impressionnées s'en imbibent; l'indice de réfraction varie dès lors périodiquement, dans l'épaisseur de la couche, de même que le pouvoir réflecteur, et l'image colorée devient visible (1).

M. Berget présente le résultat d'expériences entreprises simultanément, à l'aide de la même méthode, à Gand par M. van Aubel et à Paris par lui-même. On avait déjà signalé la dilatation magnétique des métaux et Joule, Wiedemann, Wertheim, et plus récemment Cantone avaient fait des recherches sur ce sujet.

M. van Aubel a cherché à mesurer la dilatation magnétique du bismuth et M. Berget celle du fer, à l'aide des franges de M. Fizeau : la méthode, très sensible, permet d'apprécier de très petits allongements.

M. van Aubel n'a trouvé, pour le bismuth, aucun allongement mesurable. M. Berget a constaté, pour un barreau de fer de 52^{mm} de longueur, un allongement de $0^{mm},255$ dans un champ de 49 unités C.G.S., de $0^{mm},000467$ dans un champ de 150 unités et de $0^{mm},000562$ dans un champ de 540.

Ce résultat est à rapprocher de celui de M. van Aubel relatif au bismuth : ce dernier métal, en effet, qui ne se dilate pas dans le champ, est au contraire celui dont les autres propriétés (conductibilité électrique et thermique) subissent, sous l'influence de l'aimantation, les modifications les plus considérables. Les conductibilités du fer, au contraire, se modifient peu dans le champ, alors que sa longueur s'altère d'une façon sensible.

M. Curie demande à M. Berget s'il n'a pas observé le phénomène de l'hystérésis.

---

(1) Lorsque l'on emploie l'albumine, il faut étendre une couche de ce liquide sur verre, la faire sécher et, de plus, la coaguler par du bichlorure de mercure avant de la plonger dans le bichromate de potasse. Sans cette précaution, l'albumine non impressionnée se dissoudrait lors du lavage à l'eau pure. On peut passer au bichlorure de mercure soit avant, soit après que la plaque a reçu l'impression lumineuse.

Digitized by Google

M. Berget répond que toujours les franges sont revenues à leur disposition première après interruption du courant excitateur du champ.

M. Raveau rappelle que l'existence de la *viscosité magnétique* peut rendre difficile dans le cas du fer doux l'interprétation des résultats observés; cette cause d'erreur ne semble pas d'ailleurs avoir eu d'influence dans les expériences précédentes. La méthode de M. Berget semble, au contraire, permettre d'étudier avec précision la variation avec le temps de l'effet d'une force magnétisante extérieure.

Influence de l'aimantation sur la longueur d'un barreau de bismuth;

Par M. Edm. Van Aubel.

Les changements de longueur que subissent les barreaux de fer, de nickel, de cobalt sous l'influence de l'aimantation ont fait l'objet de plusieurs travaux.

Il est intéressant, pour la théorie du diamagnétisme, d'examiner aussi comment se comporte, dans les mêmes circonstances, un corps diamagnétique, le bismuth par exemple.

MM. Tyndall (1) et Grimaldi (2) n'ont pu observer aucune variation de longueur.

Au contraire, M. Bidwell (3) a trouvé que le bismuth s'allonge faiblement dans des champs magnétiques dont l'intensité est supérieure à 500 unités C.G.S. Le plus grand allongement observé était d'environ $\frac{1,5}{10000000}$ de la longueur et correspondait à un champ magnétique de 842 unités C.G.S. L'effet n'était pas dû à la chaleur, car il se produisait instantanément lorsqu'on faisait passer le courant dans la bobine aimantante et disparaissait immédiate-

---

(1) Tyndall, *On some mechanical effects of Magnetisation,* publié dans ses *Researches on Diamagnetism and Magne-Crystallic Action.* London, 1870.

(2) Grimaldi, *Il Nuovo Cimento,* 3e série, t. XXIII, p. 211; 1888. *Journal de Physique,* 2e série, t. VIII, p. 552; 1889.

(3) Bidwell, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London,* t. CLXXIX, p. 216; 1888. *Proceedings of the Royal Society of London,* t. XLIII, p. 408; 1888.

Digitized by Google

ment avec lui. M. Bidwell ne croit pas non plus qu'on puisse attribuer cet allongement à la présence du fer comme impureté dans le bismuth. L'acier au manganèse ne s'allongeait presque pas; dans un champ de 850 unités, l'allongement était seulement $\frac{1}{50000000}$ de la longueur.

M. le Professeur Classen ayant eu l'amabilité de me remettre une grande quantité de bismuth absolument pur, j'ai pensé qu'il serait utile de refaire ces expériences en utilisant un champ magnétique intense et la méthode des franges d'interférence de M. Fizeau, qui me paraît à la fois la plus commode et la plus sensible. Le bismuth que j'ai employé est le métal dont M. Classen s'est servi pour la détermination du poids atomique (1) et dont j'ai fait une étude dans mon Mémoire *Sur les changements de résistance électrique du bismuth dans un champ magnétique* (2).

Le courant électrique qui passe dans la bobine magnétisante produit des vibrations qui auraient pu donner lieu à des perturbations dans les observations. Aussi j'ai fait cimenter solidement le support de la tige de bismuth et la partie optique de l'appareil dans un mur de fondation d'une des caves du laboratoire; la bobine parcourue par le courant était placée sur une table indépendante du mur.

La tige de bismuth a une longueur de 31^{cm} et un diamètre de 11^{mm}. Elle est placée verticalement suivant l'axe de la bobine magnétisante.

On a coulé, en une fois, une pièce en cuivre ayant la forme d'un gros prisme A terminé par un anneau excessivement épais B, dont le plan est parallèle à l'axe du prisme. L'anneau a un diamètre extérieur de 5^{cm} et une section carrée de $1^{cm},5$ de côté environ. La moitié du prisme A est enchâssée dans le mur de manière que le plan de l'anneau B soit horizontal. Cet anneau est soudé à l'intérieur d'un gros cylindre en cuivre C de 5^{cm} de diamètre et de 30^{cm} de longueur, fermé à la partie inférieure. Au centre de la base inférieure de ce cylindre se trouve une vis D d'un pas assez fin qui peut se déplacer suivant l'axe d'un cylindre.

---

(1) *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft*, Jahrgang XXIII, p. 938; 1890.

(2) *Annales de Chimie et de Physique*, décembre 1889.

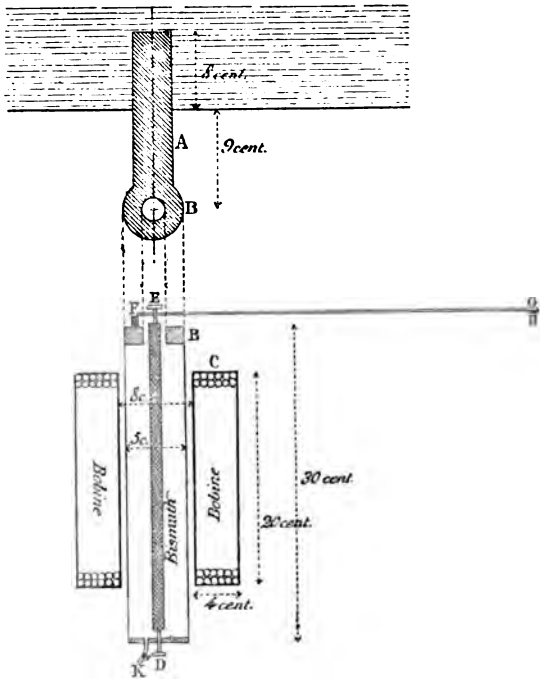
Digitized by Google

Elle supporte par sa pointe l'extrémité inférieure de la tige de bismuth, tandis que la pointe d'une vis analogue E appuie au centre de l'autre extrémité de cette tige. Aux points de contact des vis avec le barreau de bismuth, on a creusé de petits enfoncements afin de le maintenir dans l'axe du cylindre C et par suite de la bobine aimantante.

La vis peut se déplacer dans son écrou qui est formé ici par un levier en cuivre, très solide, mais aussi léger que possible, dont l'axe fixe se trouve en F sur une pièce soudée à l'anneau B.

Les longueurs FE et FG valent respectivement 2^{cm} et 37^{cm}. L'extrémité G porte à la partie inférieure une petite plaque de verre H bien plane fixée au moyen d'un peu de cire (*fig.* 1). Au-

Fig. 1.



dessous de cette plaque de verre H est un prisme à réflexion totale, rectangle isoscèle. Une des faces de l'angle droit est parallèle à la lame H, l'autre est verticale. La lumière de la soude envoyée

Digitized by Google

par une lame de verre à faces parallèles, placée à 45°, se réfléchit sur la face hypoténuse du prisme. Elle forme dans la lame d'air qui sépare le prisme de la plaque de verre H des franges d'interférence et revient dans un microscope après réflexion sur la face hypoténuse du prisme. La lame de verre, qui renvoie les rayons lumineux dans le prisme, est fixée, ainsi que le prisme, sur un petit trépied en cuivre muni de trois vis calantes. Les pointes de ces vis reposent dans trois petits enfoncements pratiqués sur la face supérieure d'un anneau horizontal semblable à l'anneau B et fixé comme lui dans le mur. Le microscope est pris dans une pince qui fait partie d'un support scellé également dans le mur. Les trois vis calantes du trépied et les deux vis D et E permettent de régler facilement l'appareil.

Un déplacement des franges indiquera une variation de longueur qu'il est facile de calculer. En effet, quand il passe, en un point fixe déterminé, dans le champ du microscope, 1 frange ou $\frac{1}{10}$ de frange, c'est que la distance des deux surfaces a varie en ce point de $0^{mm},0002944$, ou $0^{mm},00002944$, la longueur d'onde de la soude étant $0^{mm},000588$.

L'observation des franges d'interférence fournit donc un moyen très sensible pour apprécier des changements de longueur excessivement petits; c'est dans la mince lame d'air interposée entre la lame de verre et le prisme que se produit la différence de marche qui donne lieu à la production des franges.

Pour produire l'aimantation, nous avons employé une bobine cylindrique qui existait déjà au laboratoire et qui avait un diamètre intérieur de 8^{cm}, un diamètre extérieur de 16^{cm} et une hauteur de 20^{cm}. Elle portait 10 couches de fil, chacune de 50 tours, et était parcourue par un courant de 48 ampères.

On peut facilement calculer, au moyen des différentes constantes de cette bobine (1), l'intensité du champ magnétique H_C au centre C ou H_0 au point O; on trouve ainsi $H_C = 1292$ et $H_0 = 722$ unités C.G.S. environ.

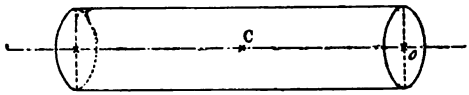
Mais il est préférable de calculer l'intensité *moyenne* du champ

(1) E. Hospitalier, *Traité élémentaire de l'énergie électrique*, t. I, p. 154; 1890.

Digitized by Google

magnétique dans la bobine au moyen de la rotation du plan de polarisation de la lumière de la soude, qui traverse un tube de 20^{cm} contenant du sulfure de carbone. En adoptant le nombre $0',043$ pour la constante de Verdet [1], on obtient ainsi $H_m = 1039$ unités C.G.S.

Fig. 2.



Comme on le voit, le champ magnétique qui était produit dans mes expériences était beaucoup plus intense que celui dont M. Bidwell s'est servi.

Avec le microscope que j'ai employé, on peut apprécier facilement $\frac{1}{10}$ de frange. Or nous avons vu que $\frac{1}{10}$ de frange correspond à une variation dans l'épaisseur de la lame d'air égale à

$$\frac{1}{10}\,\frac{\lambda}{2} + 0^{mm},0000294\,4.$$

Par conséquent l'appareil permet d'évaluer un déplacement de l'extrémité de la tige de bismuth égal à

$$0^{mm},0000294\,4 \times \tfrac{2}{37} = 0^{mm},00000159,$$

$\frac{2}{37}$ étant le rapport des bras du levier FEG. Comme la longueur de la tige de bismuth qui se trouve à l'intérieur de la bobine est de 20^{cm}, la variation de longueur relative $\frac{\Delta l}{l}$ que l'on pourra apprécier est

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{0^{mm},00000159}{200} = 0^{mm},000000008 \text{ environ.}$$

Or M. Bidwell a trouvé une variation $\frac{\Delta l}{l}$ égale à $0,00000015$. Il résulte donc de tout ce que nous venons de voir que l'allongement si faible observé par ce physicien devait être aperçu facilement avec mon appareil. Néanmoins aucun allongement n'a été constaté.

---

[1] Mascart et Joubert, *Leçons sur l'Électricité et le Magnétisme*, t. II, p. 860-861; 1886.

Digitized by Google

Pour réduire autant que possible l'influence de la température, qui d'ailleurs ne gêne pas beaucoup les observations, on se sert d'écrans en carton; en outre le cylindre C est complètement rempli d'eau que l'on peut laisser couler par le tube K et remplacer quand on le désire.

Mes expériences démontrent que la grande influence du magnétisme sur la résistance électrique ou sur le pouvoir thermo-électrique du bismuth ne peut s'expliquer par les déformations que ce métal subit dans le champ magnétique (1).

On peut encore en conclure que les molécules du barreau de bismuth ne s'orientent pas sous l'action de l'aimantation.

Sur la dilatation magnétique du fer;

par M. Alphonse Berget.

L'étude des modifications que l'aimantation fait subir aux propriétés physiques des corps placés dans un champ magnétique est déjà ancienne et revient à Joule. Wiedemann, Wertheim et Cantone ont, en particulier, étudié l'influence de l'aimantation sur la longueur des barreaux de fer ou d'acier, la variation de longueur étant mesurée micrométriquement.

L'étude réciproque a également été tentée, et ces savants ont étudié d'une façon générale l'influence d'une déformation mécanique sur l'aimantation.

J'ai pensé que l'on pourrait obtenir plus de précision, tout en conservant à l'appareil une grande simplicité, en appliquant à l'étude de ces phénomènes la méthode de M. Fizeau, basée sur l'interférence des rayons réfléchis sur les deux faces d'une mince couche d'air. On connaît l'extrême sensibilité de cette méthode, dans laquelle un déplacement d'un millimètre, subi par une des

---

(1) *Voir* Grimaldi, *loco citato.*

D'ailleurs la résistance électrique du fer, qui subit par l'aimantation une variation de longueur très sensible, se modifie beaucoup moins dans un champ magnétique que celle du bismuth.

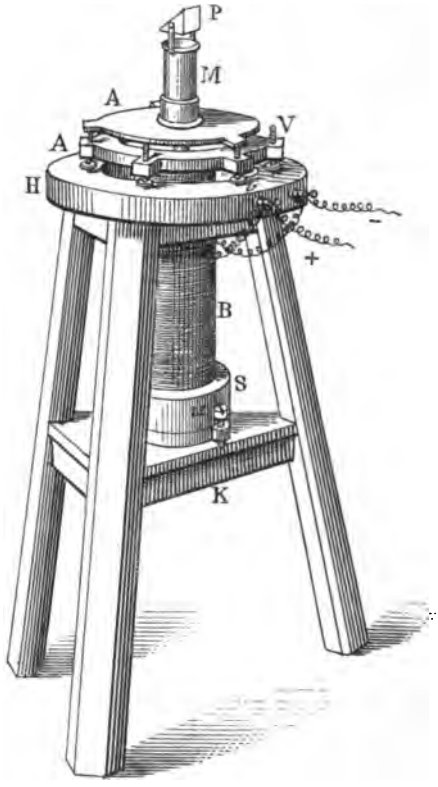
Digitized by Google

deux faces, fait passer 3300 franges dans la lunette, si l'on observe en lumière jaune.

Voici la disposition générale de l'appareil que j'ai fait construire pour ces recherches.

Un fort trépied, formé de trois gros madriers de chêne, supporte deux plates-formes H et K (*fig.* 1). La plate-forme inférieure K

Fig. 1.



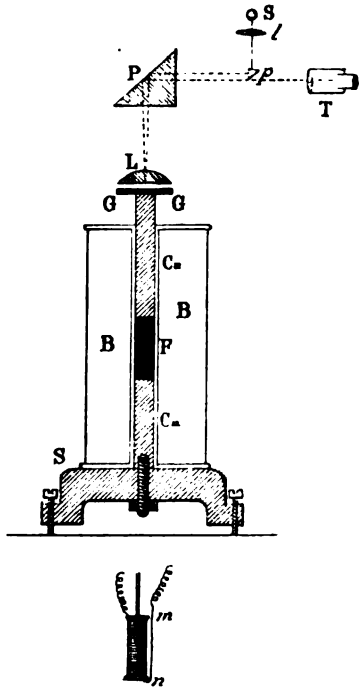
reçoit une bobine B reposant sur un socle massif de bronze S, porté par trois vis calantes *u*. Cette bobine traverse la plate-forme supérieure H par un large orifice pratiqué au centre de cette dernière.

Dans l'axe de la bobine B est placé le barreau de fer doux soumis à l'étude. Comme ce barreau doit se trouver dans la partie de

Digitized by Google

la bobine où le champ magnétique est sensiblement uniforme, il est très court ($52^{mm},25$) et se prolonge dans les deux sens par deux barres de cuivre ayant exactement le même diamètre que lui et travaillées au tour; en même temps la barre de cuivre inférieure est fixée au socle de bronze S par une vis et un écrou de cuivre. La *fig.* 2 montre la coupe de la bobine : S est le socle, F le bar-

Fig. 2.



reau de fer, terminé par les deux barres de cuivre Cu, Cu. La barre supérieure dépasse un peu la joue de la bobine B, et porte un disque GG, en glace noire, travaillé optiquement en surface plane par M. Werlein; au-dessus de cette glace est une lentille plan-convexe L, de 40^{cm} de distance focale. C'est entre la face plane de cette lentille et la glace G que se produira la différence de marche nécessaire à l'existence des franges.

Voici comment sont produites ces dernières.

Une source lumineuse suffisamment monochromatique (bec

Digitized by Google

Bunsen avec bromure de sodium) est placée en S et envoie des rayons jaunes sur un petit prisme à réflexion totale *p*, disposé de façon à les renvoyer vers un prisme plus grand P, placé verticalement au-dessus de la lentille L; c'est la face hypoténuse du petit prisme *p* qui sert, par conséquent, de source lumineuse. Les franges se produisent en G, et, après une seconde réflexion sur le prisme P, sont observées par une lunette placée en T. Le repérage de ces franges se fait facilement, à l'aide de points gravés sur la face plane de la lentille L : l'image de ces points coïncide avec celle des franges dans la lunette T.

Tout le système de la lentille L et des prismes P est porté par un manchon M, porté lui-même par un plateau A′ à vis calantes, reposant sur un anneau massif de bronze A, muni de trois vis micrométriques V. Ce plateau est porté par la plate-forme supérieure H du trépied, de sorte que toutes les parties de l'appareil sont solidaires l'une de l'autre, condition essentielle à la précision des mesures. La partie optique de l'instrument ainsi que les supports A et A′ ont été exécutés dans les ateliers de M. Werlein.

Dans ces conditions, dès que l'on excite le champ magnétique de la bobine B en y faisant passer un courant suffisamment intense, on voit les franges se déplacer; par conséquent, en mesurant ce déplacement, on peut en déduire l'allongement spécifique du barreau, à condition que l'on connaisse la valeur du champ magnétique au moment de l'expérience; pour mesurer ce champ, j'ai construit une petite bobine *mn* (*fig.* 2), ayant exactement les dimensions du cylindre de fer F, et pouvant être descendue dans l'axe de la bobine B. Les extrémités du fil de cette bobine *mn* sont reliées aux bornes d'un galvanomètre balistique.

Quand on excite le champ de la bobine B, un courant induit prend naissance en *mn* : en renversant le courant inducteur, on a le moyen classique bien connu de déterminer le champ magnétique du centre de B. On obtient ainsi le champ en fonction de l'intensité du courant inducteur. Ce courant était fourni par une batterie d'accumulateurs Gadot.

II. Dès qu'on fait passer le courant dans la bobine B, on voit les franges se déplacer. Ce mouvement est *instantané,* et les

Digitized by Google

franges reprennent leur position première dès que l'on interrompt le courant.

On pourrait objecter à cette expérience que l'aimantation du fer l'échauffe et, par suite, produit une dilatation; ne serait-ce pas simplement cette dilatation que l'on observe?

La réponse à cette objection est facile à faire : l'élévation de température produit une dilatation, mais cette dilatation n'est pas instantanée; par suite on observera un mouvement *lent* des franges, dû à l'allongement thermique, et qu'il n'est pas possible de confondre avec le mouvement instantané dû à l'allongement magnétique.

Voici maintenant quels sont les résultats auxquels je suis arrivé : ils sont réunis dans le Tableau suivant, dans lequel la première colonne indique la valeur du champ magnétique, la deuxième le nombre de franges (en lumière jaune) déplacées, la troisième l'allongement en fractions de millimètre.

Intensité du champ.	Nombre de franges déplacées.	Allongement.
		mm
49	0,85	0,000255
104	1,40	0,000412
135	1,50	0,000444
150	1,60	0,000467
160	1,62	0,000473
177	1,66	0,000483
190	1,68	0,000495
209	1,73	0,000509
238	1,80	0,000530
410	1,89	0,000556
540	1,91	0,000562

La courbe qui représente graphiquement ces résultats a la forme qu'indique la *fig.* 3 : elle est asymptote à une droite parallèle à l'axe horizontal sur lequel on a porté en abscisses les valeurs du champ magnétique.

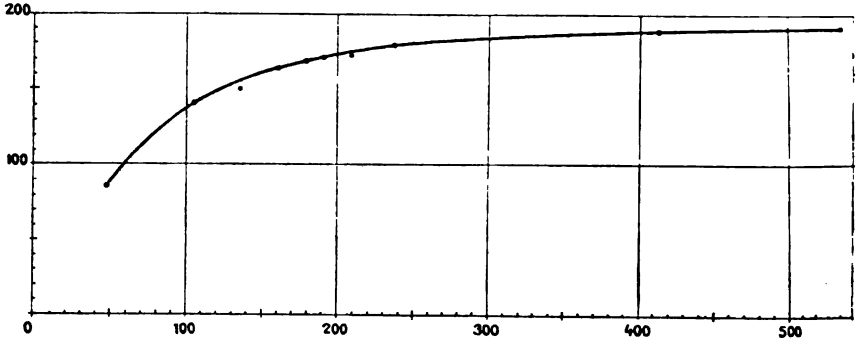
On remarquera l'analogie de cette courbe avec celle qui représente l'intensité d'aimantation en fonction de la force magnétisante. Elle appartient au type des courbes que l'on peut représenter par l'équation

$$y = A(1 - e^{-ax}).$$

Digitized by Google

III. J'ai employé un dispositif qui m'a semblé très bon pour les mesures optiques, et qui permet de se passer de la lumière monochromatique de l'une des raies du sodium : il consiste à utiliser la différence de marche qui se produit entre la lentille L et la glace G à la production d'un spectre cannelé.

Fig. 3.



On remplace, pour cela, la source lumineuse monochromatique par une source de lumière blanche : les interférences se produisent en G, mais, au lieu de les observer dans une lunette, on les observe dans un spectroscope ; on a alors un spectre cannelé, et le déplacement des cannelures sert à mesurer l'allongement du barreau.

Ce dispositif est très commode pour projeter, dans un cours, le phénomène sur l'écran blanc.

J'ai borné mes mesures à l'étude d'un barreau de fer doux ; il n'y a, en effet, pas d'intérêt à chercher des constantes pour plusieurs métaux, car les constantes mesurées varient avec chaque échantillon. J'ai indiqué ces dispositifs à cause de leur précision et de leur généralité : ils permettront de déterminer facilement, quand besoin en sera, la dilatation magnétique d'un barreau quelconque ; ils permettraient aussi d'étudier avec précision le magnétisme transversal : c'est une étude que j'entreprendrai prochainement.

Digitized by Google

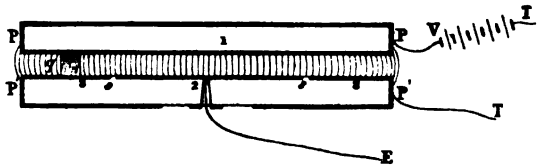
Sur l'emploi des condensateurs à anneau de garde et des électromètres absolus;

Par M. P. Curie.

Condensateur à anneau de garde. — Nous nous sommes servis mon frère et moi, dans diverses recherches, d'un condensateur à anneau de garde, dans lequel on employait comme plateaux deux plaques de verre argentées.

Les plateaux PP, P'P' (*fig.* 1) étaient séparés par trois cales de

Fig. 1.



quartz *q*. L'argenture de la face intérieure de l'un des plateaux était divisée en une portion centrale (2) et un anneau de garde (3) à l'aide d'un trait circulaire de quelques dixièmes de millimètre de large *ss* tracé dans l'argenture. Ce trait constituait le sillon de l'anneau de garde. L'avantage de cet appareil est de réaliser d'une façon à peu près parfaite et sans qu'il soit nécessaire de faire aucune correction le condensateur théorique (¹).

Nous avons d'abord employé cet instrument dans des recherches d'électricité statique, en portant P (*fig.* 1) à un certain potentiel V avec une pile, l'anneau de garde étant à terre, et en mesurant la quantité d'électricité nécessaire pour maintenir la portion centrale de P' au potentiel zéro. Mais, dans ces conditions, l'appareil

(¹) L'axe optique des cales de quartz est horizontal, c'est-à-dire parallèle aux plateaux. Dans la direction normale à l'axe, la conductibilité du quartz est en effet extrêmement faible, tandis que le quartz conduit presque aussi bien que le verre dans la direction de l'axe (J. Curie, *Annales de Chimie et de Physique*, 1889).

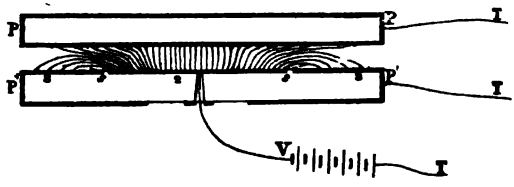
Nous employons cet appareil depuis 1883 (*voir* J. Curie, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 1886 et journal *La lumière électrique*, 1888). M. Abraham s'est servi récemment de cet instrument et a donné une méthode très précise pour mesurer la distance des plateaux (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 1892. Thèse à la Faculté des Sciences).

Digitized by Google

est mal isolé. Le sillon *s*, qui sépare l'anneau de garde de la portion centrale du plateau P′, devient conducteur sous l'influence de l'humidité de l'air et cette conductibilité est généralement accompagnée d'une petite force électromotrice; enfin la conductibilité du verre lui-même n'est pas négligeable (¹).

Pour éviter ces inconvénients, nous avons employé le condensateur (*fig.* 2) en chargeant au potentiel V la portion centrale du plateau P′, l'anneau de garde étant toujours à terre, et en mesu-

Fig. 2.



rant l'électricité qu'il fallait fournir au plateau P pour qu'il reste au potentiel zéro.

En vertu d'un théorème connu d'électricité statique, les quantités d'électricité mesurées sont les mêmes dans les deux modes opératoires, bien que dans le second la distribution des lignes de force soit très compliquée (nous avons représenté d'une manière schématique sur les *fig.* 1 et 2 la disposition des lignes de force).

En opérant par la seconde méthode, c'est le plateau P très bien isolé par les cales de quartz parallèle qui est en relation avec les appareils de mesure et l'instrument fonctionne parfaitement.

Électromètre absolu à anneau de garde. — Je me suis

(¹) Les armatures du condensateur communiquant d'abord avec la terre, on isole la portion centrale de P′; on constate avec un électromètre de faible capacité qu'il n'y a pas tout d'abord de force électromotrice; mais celle-ci prend naissance lentement. On peut admettre que les deux portions d'argenture du plateau P′, reliées par l'humidité à la surface du sillon de l'anneau de garde, forment un couple. Ce couple, complètement polarisé quand tout est relié à la terre, se dépolarise lentement quand une des parties argentées est isolée.

Ces causes de trouble, qui peuvent avoir une influence appréciable dans des expériences d'électricité statique, ne peuvent évidemment produire aucun effet dans des expériences avec un galvanomètre. M. Abraham a, du reste, vérifié par expérience qu'il en était bien ainsi.

Digitized by Google

demandé si le même artifice pouvait être employé avec l'électromètre absolu à anneau de garde, c'est-à-dire si l'on pouvait indifféremment l'employer par la méthode ordinaire ou bien charger la portion centrale du plateau P′ (*fig.* 2), laisser l'anneau de garde et le plateau P en relation avec la terre et mesurer l'attraction du plateau P.

La pression électrostatique étant proportionnelle au carré de la densité électrique, il semble, au premier abord que les forces d'attraction doivent être assez différentes dans les deux cas. On parvient cependant à se rendre compte qu'elles ne diffèrent que d'une quantité extrêmement petite lorsque le rapport du diamètre de la portion centrale du plateau P′ à la distance des plateaux est suffisamment grand. De plus le terme de correction très petit qui pourrait être nécessaire peut être évalué d'une façon rigoureuse dans une étude préalable. Il suffit, pour cela, de faire trois mesures : la première avec la portion centrale seule du plateau P′ au potentiel V, l'anneau de garde et le plateau P étant à terre ; la deuxième avec tout le plateau P′ au potentiel V ; la troisième avec l'anneau de garde au potentiel V, la portion centrale de P′ et le plateau P étant à terre.

Désignons par F_1, F_2, f les forces d'attraction obtenues respectivement dans ces trois expériences. Désignons par C la capacité réciproque (ou coefficient d'induction) entre le plateau P et la portion centrale du plateau P′ ; par c la capacité réciproque du plateau P et de l'anneau de garde de P′ ; par γ la capacité réciproque entre la portion centrale et l'anneau de garde du plateau P′. Désignons par e la distance des plateaux. On a, en supposant que l'on écarte de de les plateaux et en appliquant le principe de la conservation de l'énergie,

$$F_1 = -\frac{1}{2}V^2\frac{dC}{de} - \frac{1}{2}V^2\frac{d\gamma}{de},$$

$$F_2 = -\frac{1}{2}V^2\frac{dC}{de} - \frac{1}{2}V^2\frac{dc}{de},$$

$$f = -\frac{1}{2}V^2\frac{dc}{de} - \frac{1}{2}V^2\frac{d\gamma}{de},$$

d'où

$$F_1 + F_2 - f = 2\left(-\frac{1}{2}V^2\frac{dC}{de}\right).$$

Désignons par φ la force que donnerait l'attraction de la portion

Digitized by Google

centrale du plateau P′ si l'électromètre était employé par la méthode habituelle pour le même potentiel électrique

$$F_1 + F_2 - f = 2\varphi,$$

ce qui permet de calculer φ.

Soit

$$\varepsilon = \frac{\varphi - F_1}{F_1},$$

on aura

$$\varphi = F_1(1 + \varepsilon)$$

et ε sera un coefficient de correction toujours très petit qui sera le même, quel que soit le potentiel, pour une même distance des plateaux et qui pourra être déterminé d'avance.

Le calcul qui précède rend légitime le nouveau mode opératoire, qui, au point de vue pratique, semble plus avantageux que l'ancien. On pourrait en effet employer les plateaux en verre argentés comme pour les condensateurs, puisque les deux portions conductrices du plateau P′ sont solidaires. Le desiderata de la théorie serait obtenu d'une manière plus parfaite, le sillon qui sépare ces deux portions argentées étant très étroit et ces deux portions étant très exactement dans le même plan.

Je pense que, si l'on réalisait cet instrument, la meilleure disposition pour mesurer la force d'attraction serait de suspendre le plateau continu PP à l'extrémité d'une balance (1), le plateau PP′ étant fixe. Il faudrait employer une balance permettant d'apprécier un déplacement très petit du plateau. Les balances avec micromètre mobile et microscope fixe conviendraient pour cet usage (2).

Enfin la sensibilité étant fortement augmentée par la présence du champ électrique, il faudrait, pour que l'équilibre fût stable, baisser le centre de gravité du fléau d'une quantité qui dépendrait de l'intensité du champ. Une masse mobile le long de l'aiguille de la balance serait fort utile pour obtenir ce résultat.

Ces diverses dispositions rendraient moins pénible l'emploi de l'électromètre absolu et les mesures faites avec une balance et un

---

(1) M. Baille a déjà fait usage de la balance dans des mesures faites avec l'électromètre à anneau de garde (*Journal de Physique*, p. 169; 1882.

(2) P. Curie, *Journal de Physique*, p. 138; 1890.

Digitized by Google

équilibre stables seraient beaucoup plus précises que celles faites avec un ressort.

Voici le résultat d'un calcul numérique qui montre que les conditions requises pour un bon fonctionnement peuvent être réalisées pratiquement.

Soit un électromètre de 1^{dm^2} de surface de plateau, et supposons un champ de 200 volts par millimètre et une distance de 5^{mm} entre les plateaux.

La balance employée aurait 10^{cm} de longueur de bras et le micromètre serait à 20^{cm} du couteau central, on pourrait apprécier au microscope $\frac{1}{500}$ de millimètre. Le fléau aurait une masse de 300^{gr} (en y comprenant une masse de 100^{gr} mobile le long de l'aiguille.)

On remarque d'abord que dans ces conditions la balance est folle tant que le centre de gravité du fléau n'est pas plus bas que $2^{mm},4$ au-dessous de l'arête du couteau central.

L'attraction électrique étant de 177 dynes, supposons que l'on veuille apprécier le $\frac{1}{10}$ de milligramme, il faudra pour cela baisser le centre de gravité du fléau jusqu'à $5^{mm},7$.

Électromètre sphérique. — Le même principe peut servir à transformer tous les instruments employés en électricité statique. Ce principe consiste essentiellement à séparer au point de vue du potentiel électrique et à rendre solidaires au point de vue mécanique certains conducteurs qui, dans le fonctionnement normal, étaient solidaires au point de vue du potentiel électrique et indépendants au point de vue mécanique et réciproquement.

L'électromètre sphérique de M. Lippmann est particulièrement intéressant à considérer avec ce nouveau mode de fonctionnement. Avec la nouvelle disposition, la sphère conductrice intérieure (*fig.* 3) serait simplement suspendue sous le plateau d'une balance par le fil métallique *ad*. La sphère extérieure fixe serait formée de deux hémisphères métalliques matériellement solidaires et réunis par une substance isolante tout le long d'un grand cercle *bb*. On porterait l'hémisphère inférieur au potentiel V, l'hémisphère supérieur étant unis à la terre ainsi que toute la sphère intérieure et l'on mesurerait, par une pesée, la force résultante des actions électriques sur la sphère intérieure. Les lignes de forces (grossièrement représentées *fig.* 3) seraient réparties d'une façon fort complexe; cependant la force d'attraction verticale F est donnée par une formule simple d'une façon rigoureuse. Désignons par *de* un déplacement infiniment petit de la sphère intérieure suivant la verticale.

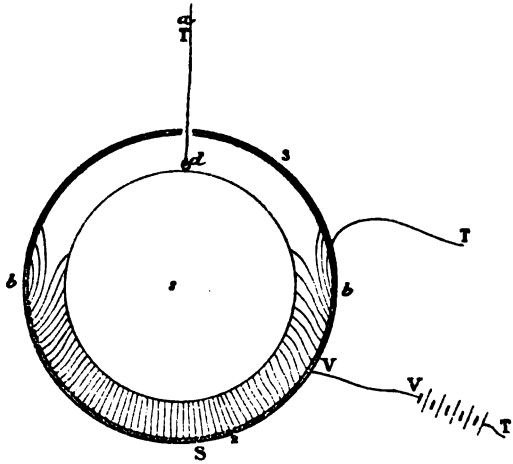
Digitized by Google

Soit C la capacité réciproque entre la moitié de la sphère extérieure et la sphère intérieure. Soit c la capacité réciproque des deux moitiés de la sphère extérieure.

On a

$$F = -\frac{1}{2}V^2\frac{dC}{de} - \frac{1}{2}V^2\frac{dc}{de}.$$

Fig. 3.



Mais, lorsque les deux sphères sont concentriques, c par raison de symétrie passe par un minimum, donc $\frac{dc}{de} = 0$ pour les deux sphères concentriques et il reste

$$F = -\frac{1}{2}V^2\frac{dC}{de}.$$

Pour avoir $\frac{dC}{de}$ il faut faire usage des images électriques en suivant la méthode de Murphy. On cherche la capacité $C + dC$ d'un hémisphère lorsque les deux centres des deux sphères sont à une distance de infiniment petite (la direction e étant normale au plan de séparation des deux hémisphères). C est la capacité de la moitié d'un hémisphère du condensateur sphérique lorsque les sphères sont concentriques; on a donc par différence dC ce qui permet de calculer F. On trouve ainsi, lorsque, comme dans le cas considéré plus haut, c'est une des moitiés de la sphère extérieure qui est

Digitized by Google

portée au potentiel V,

$$F = \frac{3}{8} V^2 \frac{r}{R - r} \frac{R^3}{R^3 - r^3}, \tag{1}$$

R étant le rayon de la sphère extérieure,
r celui de la sphère intérieure.

Dans le cas où la sphère intérieure serait divisée au point de vue électrique en deux hémisphères portés au potentiel zéro et V et où la sphère extérieure serait au potentiel zéro on aurait

$$F = \frac{3}{8} V^2 \frac{R}{R - r} \frac{r^3}{R^3 - r^3}; \tag{2}$$

ces deux formules diffèrent de celle de l'électromètre sphérique employé sous sa forme normale. On a, en effet, dans ce cas

$$F = \frac{V^2}{8} \frac{R^2}{(R - r)^2}. \tag{3}$$

Les formules (1) et (2) montrent que, lorsque l'on augmente le rayon R, le rayon r restant constant, la force diminue plus vite avec le nouveau mode de fonctionnement qu'avec l'ancien. Avec l'ancien mode, la force tend vers $\frac{1}{8} V^2$ lorsque R tend vers l'infini, tandis qu'elle tend vers zéro avec la nouvelle méthode. Ceci pouvait se prévoir *a priori*.

Au contraire, si $(R - r)$ est petit par rapport à r les formules (1), (2), (3) donnent sensiblement les mêmes résultats.

L'électromètre sphérique présente à certains points de vue des avantages très sérieux. Cet électromètre absolu serait peut-être le meilleur, si l'on parvenait à surmonter les grosses difficultés que l'on rencontre dans sa construction. L'usage de cet instrument sera plus pratique en employant le nouveau mode opératoire que nous venons d'indiquer. Signalons en particulier que l'on pourra vérifier la coïncidence des centres des deux sphères en utilisant les phénomènes électriques, en constatant par exemple que la force agissant sur la sphère intérieure est nulle lorsque, cette sphère restant en relation avec la terre, on porte toute la sphère extérieure à un certain potentiel.

Digitized by Google

SÉANCE DU 16 DÉCEMBRE 1892.

PRÉSIDENCE DE M. JOUBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 décembre est lu et adopté.

Sur la proposition du Conseil : MM. BORDET, POIRÉ et POLLARD sont nommés Membres de la Commission chargée de vérifier les Comptes de l'année 1892.

Ellipsomètre. — M. ED. JANNETTAZ a publié, il y a seize ans déjà, le principe qu'il a appliqué dans la disposition d'une lunette destinée à déterminer l'orientation des axes des ellipses isothermes sur des plaques cristallines. Si l'on regarde une ellipse à travers un spath, on en voit deux images qui se coupent et les points d'intersection de ces images sont sur une droite perpendiculaire à la section principale du spath, lorsqu'un des axes de la courbe a lui-même cette direction; car, à ce moment, tout est symétrique à droite et à gauche de la section du spath, comme à droite et à gauche de l'axe de la courbe.

Dans un premier instrument on regardait les courbes normalement; or on les voit difficilement de cette façon; au contraire, on en distingue nettement les contours en les observant sous des incidences obliques.

M. Jannettaz a obtenu un plein succès en adaptant un prisme biréfringent, à dédoublement variable, à la lunette de Desains pour la mesure des anneaux colorés de Newton; il a eu néanmoins à modifier cette lunette au point de vue des mouvements qu'elle est susceptible de recevoir. Il l'a rendue mobile le long d'une colonne verticale et en même temps autour d'un axe horizontal. Il a pris comme plate-forme, sur laquelle on peut poser les plaques, un cercle divisé muni d'un vernier circulaire. Enfin il a fixé au foyer de l'oculaire un réticule formé de deux fils rectangulaires, l'un parallèle et l'autre perpendiculaire à la section principale du spath. Le cercle divisé permet de mesurer l'angle que fait l'axe de la courbe avec une ligne de repère de la plaque, par exemple une des arêtes du cristal dans lequel on l'a taillée, en amenant ces deux directions l'une après l'autre devant le fil du réticule qui reste horizontal. La vis micrométrique tournant avec un tambour divisé permet de mesurer les longueurs des axes. Telle qu'elle est construite maintenant, cette lunette, appelée *ellipsomètre*, permet 1° d'orienter les axes des ellipses; 2° de mesurer les longueurs de ces axes; 3° les angles qu'ils font avec des directions connues sur des plaques cristallines. Elle donne aussi un moyen de s'assurer que des courbes isothermes sont bien circulaires, ce qui peut rendre de grands services dans les *cas limites* en Cristallographie physique, car les points d'intersection des deux images d'un cercle sont sur une droite de direction constante.

Digitized by Google

Il est évident que cet appareil peut servir à l'étude de courbes quelconques; il peut, en particulier, permettre de reconnaître si une courbe possède un axe de symétrie et comment il est placé.

La lunette présentée à la Société a été construite avec soin par M. Pellin.

M. le capitaine R. Colson communique un travail relatif à un *phénomène d'interférence produit par des ondes électriques lancées par une source périodique dans un circuit fermé.*

Le dispositif expérimental est le suivant : une bobine Ruhmkorff est mise en vibration par une pile thermo-électrique, et chacune des deux bornes de l'induit communique avec un fil de cuivre; ces deux fils sont reliés par un conducteur médiocre, tel qu'un fil de lin imprégné d'une dissolution de chlorure de calcium, qui présente l'avantage d'une certaine stabilité.

On emploie le téléphone en mettant une des bornes en contact avec le fil et en laissant l'autre borne isolée; on tient à la main l'enveloppe isolante du câble souple; il n'y a pas alors d'effet d'induction, et le téléphone n'est impressionné que par ce qui se passe dans le fil lui-même au seul point de contact.

Si l'on supprime momentanément la communication du fil médiocre avec une des bornes de la bobine et que l'on promène le téléphone sur ce fil à partir du fil de cuivre qui est relié à l'autre borne, le son s'éteint dans le téléphone lorsque celui-ci a parcouru une certaine longueur, qu'on peut appeler *longueur d'extinction.* Cela se produit également si l'on intervertit les communications sur l'autre moitié du fil.

Quand on rétablit la continuité du circuit, ces deux longueurs d'extinction subsistent, à la condition que leur somme soit inférieure à la longueur du fil.

Si l'on raccourcit le fil par un bout, de façon que les deux longueurs d'extinction empiètent l'une sur l'autre, on trouve dans la région commune une *zone neutre,* c'est-à-dire le long de laquelle le téléphone devient muet. Cette zone neutre, qui est très nette, se déplace vers l'origine fixe en se resserrant de plus en plus au fur et à mesure que la longueur du fil médiocre diminue; elle se réduit à un point quand les fils de cuivre sont près de se toucher; puis elle se répand sur tout le circuit au moment où le contact a lieu. D'un conducteur à un autre, la zone neutre augmente avec la conductibilité.

On peut encore tendre deux fils identiques, isolés à une extrémité, et reliés, à l'autre, à chacune des bornes de la bobine; en faisant glisser sur eux une tige de cuivre, on obtient le même résultat que si les deux fils étaient réunis entre eux par les points de contact; il y a encore une zone neutre pour chaque position de la tige, et on peut l'amener sur la tige même après quelques tâtonnements.

M. Colson développe une explication basée sur l'effet résultant des deux systèmes d'ondes envoyés par la bobine en sens contraires; en résumé,

Digitized by Google

l'intensité du son dans le téléphone dépend des variations du potentiel au point de contact, et *chaque point pour lequel elle s'annule se trouve à la rencontre de deux ondes ayant à chaque instant des potentiels égaux en valeur absolue et de signes contraires.* La zone neutre est d'autant plus longue que les ondes sont plus larges.

Ce procédé permet donc de constater l'existence d'une interférence, d'un nœud stationnaire, en circuit fermé; il est simple, précis, et d'une grande sensibilité.

M. Colson fait remarquer que tout appareil fonctionnant par variation de potentiel du point de contact est susceptible de montrer cette interférence; il l'a vérifié, en particulier, pour le tube de Geissler tenu à la main et mis en contact avec le conducteur par un des fils de platine; il a retrouvé ainsi les zones neutres révélées par le téléphone. Le tube de Geissler s'illumine, quelle que soit la fréquence des ondes; le téléphone ne traduit que celles dont la fréquence ne dépasse pas quelques milliers par seconde, mais il est beaucoup plus sensible et fournit en outre une approximation de cette fréquence par la hauteur du son.

Ces résultats donnent lieu à des applications et conséquences intéressantes qui feront l'objet de communications ultérieures.

M. A. Hess présente les résultats que lui a fournis l'étude d'un cas particulier de la théorie des diélectriques hétérogènes donnée par Maxwell.

Une lame diélectrique peut être assimilée à deux condensateurs de capacité et de résistance spécifiques différentes groupés en série. En supposant que l'un des condensateurs présente une résistance infinie et que l'autre ait une certaine conductibilité, on trouve qu'en chargeant ce système au moyen d'une force électromotrice constante, la différence de potentiel ε entre les armatures du condensateur isolant augmente d'une façon continue, tandis que la tension ε' du condensateur conducteur passe par un maximum et tend finalement vers zéro. Il en résulte que le courant de charge ne diminue que très lentement. Pendant la décharge sur une résistance les variations des différences de potentiel se reproduisent, en sens inverse, dans les mêmes conditions; ε' devient négatif et passe par un minimum. La somme des tensions $(\varepsilon + \varepsilon')$ baisse très rapidement, de sorte que le courant de décharge est presque éteint, alors qu'à l'intérieur du système subsistent des tensions considérables, mais se faisant équilibre. Pendant la période de l'isolement ε reste constant, mais ε', qui est négatif, diminue en valeur absolue selon la loi exponentielle ordinaire; d'où cette conséquence importante que la tension totale augmente pendant le repos, et peut ensuite donner lieu à une décharge résiduelle.

Le rapport $\frac{E}{I}$ de la force électromotrice de mesure au courant de charge à une époque déterminée est souvent admis comme représentant la résistance d'isolement; en réalité, ce rapport n'a rien de commun avec la résistance d'isolement, celle-ci étant infinie dans le cas considéré.

Digitized by Google

On a observé que l'isolement diminue lorsque la température du corps augmente; ce fait s'explique par l'augmentation de l'intensité de charge lorsque la résistance de C', qui présente généralement les caractères d'un électrolyte, diminue.

On peut encore représenter un diélectrique d'une façon plus complexe en ajoutant aux deux condensateurs en cascade un troisième condensateur en dérivation sur les deux premiers. L'hétérogénéité n'entraîne pas la production du résidu, dans le cas où les produits de la résistance par la capacité des divers condensateurs sont égaux. On prévoit alors que pour tout mélange de deux diélectriques il existe une température à laquelle le phénomène du résidu disparaîtrait

M. Hess décrit une expérience qu'il a effectuée pour vérifier l'exactitude de ses calculs. En couplant en série deux condensateurs Carpentier, l'un de 0,1, l'autre de 0,5 microfarad, et en shuntant ce dernier par une résistance de 100 mégohms, constituée par un trait de graphite sur une lame de verre dépoli, il a obtenu un système qui ne se chargeait que très lentement, et fournissait après une première décharge instantanée un nombre considérable de décharges résiduelles.

L'analogue hydraulique d'un condensateur est un tube en U, dont les deux branches représenteraient les armatures, et où les niveaux du liquide correspondraient aux potentiels. M. Hess présente un appareil permettant de reproduire des phénomènes analogues à ceux obtenus avec deux condensateurs en série. C'est un tube à trois branches dont deux communiquent dans le haut par un tube de faible section, faisant office de conducteur entre les armatures d'un des condensateurs. On charge le système en exerçant une pression dans l'une des branches extrêmes; la décharge instantanée correspond à l'expulsion instantanée de l'air lorsqu'on ouvre cette branche; pendant l'isolement, la même branche est fermée; en l'ouvrant à nouveau, on constate une expulsion d'air résiduelle. Dans ces diverses phases, les niveaux du liquide varient comme les potentiels dans le système des condensateurs.

M. P. Curie dit qu'il est bien remarquable que Maxwell ait en quelque sorte deviné que la décharge résiduelle était due à l'hétérogénéité de la matière. Les expériences de M. J. Curie montrent qu'il en est bien ainsi : les phénomènes de charge lente ou de conductibilité sont dus à la présence d'autres molécules que celles du corps pur qui donne le pouvoir inducteur. Ce fait est encore mis en évidence par les expériences de M. Bouty.

Le cas particulier étudié par M. Hess est très intéressant : il nous permet de préciser les idées de Maxwell et de voir sur quels points sa théorie est insuffisante pour l'explication des phénomènes. Parmi ces points litigieux nous citerons ce fait, que dans tous les diélectriques la quantité d'électricité condensée pendant la charge tend vers l'infini en même temps que le temps, bien que l'intensité du courant de charge tende vers zéro.

M. Hess répond que la loi hyperbolique établie par M. J. Curie, qui a

Digitized by Google

montré que le logarithme de l'intensité de charge en fonction du logarithme du temps est une droite entre des limites très étendues (1), peut ne plus représenter les phénomènes au delà de ces limites. Cette loi n'est d'ailleurs pas générale; pour le spath M. J. Curie a trouvé une courbe logarithmique concave vers l'axe des abscisses. Lorsque l'on trace les courbes correspondantes résultant des calculs de M. Hess, on obtient des courbes analogues à celles qu'ont fournies les recherches de M. J. Curie sur les cristaux, et en modifiant les valeurs relatives des capacités on peut passer des courbes du type général à celles dont la conductibilité du spath est un exemple.

Emploi du téléphone et du tube de Geissler pour la recherche d'interférences électriques. Passage du circuit ouvert au circuit fermé; par M. R. Colson.

J'ai exposé dans une Communication précédente (2), une méthode téléphonique qui permet d'étudier la propagation des ondes électriques de fréquence modérée. Je me suis placé, pour ce premier travail, dans le cas le plus simple, celui du circuit ouvert.

La présente Note est relative au passage du circuit ouvert au circuit fermé; on trouve alors qu'il se produit un phénomène d'interférence par la rencontre d'ondes de signes et de sens contraires lancées par la source périodique dans ce circuit fermé.

Expériences. — La source périodique est constituée par une bobine Ruhmkorff, dont le marteau est mis en vibration par une pile thermo-électrique. L'une des bornes de l'induit reste d'abord isolée; à l'autre borne est fixé un fil de cuivre, terminé par un crochet auquel on attache un conducteur médiocre, tel que fil de lin, chanvre, ou coton, imprégné d'une dissolution obtenue par déliquescence spontanée d'un fragment de chlorure de calcium dans l'atmosphère du laboratoire; ce liquide a l'avantage de rester stable, et, par conséquent, de garder une conductibilité sensiblement constante, pendant la durée de nombreuses expériences.

---

(1) Pour des charges durant depuis une minute jusqu'à plusieurs jours pour un grand nombre de diélectriques.

(2) *Voir* le *Bulletin de la Société de Physique*, séance du 4 mars 1892, p. 152.

Digitized by Google

Le fil médiocre est d'abord isolé à son autre extrémité.

Le téléphone est employé suivant le premier mode indiqué dans mon précédent travail : je tiens à la main le cordon souple par son enveloppe isolante, et je mets une des bornes en contact avec le conducteur à étudier, l'autre borne étant maintenue relevée et isolée; le voisinage de la main étouffe les effets d'induction du conducteur sur le câble du téléphone, de sorte que le son rendu par cet appareil ne dépend plus que de ce qui se passe au point de contact.

En promenant le contact le long du fil médiocre, à partir du cuivre, on constate que le son s'éteint entièrement lorsqu'on a parcouru une certaine longueur, variable avec le téléphone employé et les autres éléments de l'expérience, et que j'appellerai par abréviation *longueur d'extinction*.

En intervertissant les rôles des deux bornes de l'induit, on trouve une deuxième longueur d'extinction, qui n'est pas tout à fait la même que la première; cette différence s'explique par la dissymétrie d'enroulement du fil secondaire de la bobine, dissymétrie qui détermine des potentiels différents aux deux extrémités du fil induit.

Prenons maintenant une longueur du fil médiocre supérieure à la somme de ces deux longueurs d'extinction, et attachons-en les extrémités à deux fils de cuivre aboutissant respectivement aux deux bornes de la bobine. Le circuit est alors continu; mais il n'est pas encore fermé, parce que les deux systèmes d'ondes lancés par les deux bornes de la bobine sont encore indépendants l'un de l'autre. On retrouve avec le téléphone les deux longueurs d'extinction partant des deux extrémités du fil, comme si celui-ci était formé de deux parties séparées.

Réduisons la longueur du fil médiocre de façon qu'elle devienne inférieure à la somme des deux longueurs d'extinction; alors, dans la région commune à celles-ci, il se forme une *zone neutre,* le long de laquelle le téléphone devient muet.

Si l'on continue à raccourcir le fil progressivement, la zone neutre se déplace, en restant toujours plus rapprochée de l'extrémité qui correspond à la plus petite longueur d'extinction; en même temps, elle se resserre de plus en plus. Lorsque le fil est réduit à quelques millimètres, elle n'occupe plus qu'un point.

Digitized by Google

Enfin, au moment où les deux fils de cuivre se touchent, elle se répand sur tout le circuit.

D'un corps à un autre, toutes choses égales d'ailleurs, l'étendue de la zone neutre augmente avec la conductibilité.

On peut encore disposer l'expérience d'une autre façon. Deux fils médiocres, identiques, sont tendus horizontalement et parallèlement; l'une des extrémités de chacun est isolée; les deux autres extrémités sont fixées à deux fils de cuivre qui sont reliés respectivement aux deux bornes de la bobine. Si l'on pose sur les deux fils médiocres une tige de cuivre, de façon à relier deux points situés à l'intérieur des deux longueurs d'extinction, le circuit est fermé, et le téléphone indique la formation d'une zone neutre sur l'un ou l'autre des fils; on peut, à l'aide de quelques tâtonnements, amener celle-ci sur la tige qui constitue le pont.

J'ai répété ces différentes expériences avec une grosse bobine, ainsi qu'avec un électrodiapason, et j'ai retrouvé les mêmes résultats.

Explication. — Voici l'explication que je propose :

Le téléphone fonctionne ici par variation de charge; l'intensité du son dépend donc des variations du potentiel au point de contact du conducteur avec la borne du téléphone.

Or, la bobine envoie en même temps deux ondes de sens contraires, qui sont toutes deux soit directes (ouverture du circuit inducteur), soit inverses (fermeture du même circuit). Les deux ondes directes sont de signes contraires pour les deux bornes; il en est de même des deux ondes inverses. De plus, pour une même borne, l'onde directe et l'onde inverse qui s'y succèdent sont de signes contraires. On sait, d'ailleurs, que le potentiel de l'onde inverse est inférieur à celui de l'onde directe.

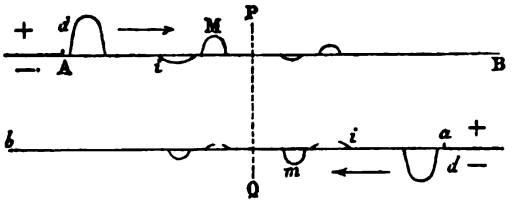
Considérons deux fils médiocres identiques AB et *ab*, attachés en A et *a* à deux fils de cuivre reliés aux deux bornes de la bobine; supposons que AB et *ab* soient les deux longueurs d'extinction, et que nous immobilisions, à un instant quelconque, les deux systèmes d'onde. Si l'on tient compte de l'espèce des ondes, et de la diminution du potentiel, qui est assez rapide le long de ce genre de fil, ainsi qu'il résulte de mon précédent travail, la répartition du potentiel, positif ou négatif, des ondes directes *d* et inverses *i*,

Digitized by Google

pourra être représentée à ce moment par la figure ci-dessous.

Si les deux fils sont amenés en coïncidence, et remplacés par un seul A*a*, on aura à composer en chaque point les potentiels des deux systèmes pour obtenir le potentiel résultant.

Fig. 1.



Cherchons deux ondes directes, de sens contraires, telles que leurs potentiels pris en valeur absolue présentent la plus petite différence, et que leur distance soit la plus petite possible; sur la figure, M et *m* remplissent ces conditions. Laissons maintenant les ondes reprendre leur déplacement; les sommets de M et de *m* vont se rencontrer dans un plan intermédiaire PQ; il en sera de même pour les deux ondes inverses qui suivent, puis pour les deux nouvelles ondes directes, en raison de l'égalité des périodes des deux systèmes d'ondes qui se rencontrent, et ainsi de suite. Comme les deux potentiels composants sont là de signes contraires et le plus près d'être égaux en valeur absolue, il se formera dans le plan PQ entre les ondes directes un potentiel résultant minimum; les ondes inverses donneront lieu aussi à un potentiel résultant sensiblement minimum, de sorte que la variation du potentiel résultant passera là par un minimum. En tout autre endroit où des ondes se rencontrent, il existe une plus grande différence entre les potentiels composants et la variation du potentiel résultant est plus grande.

On comprend donc que l'intensité du son du téléphone passe par un minimum dans le plan PQ. *Si les potentiels des deux ondes qui se rencontrent sont égaux en valeur absolue, la variation du potentiel est nulle, et le téléphone est muet.*

Avec le dispositif à pont, l'explication est la même.

Conclusion. — *Ce procédé permet donc de constater l'existence d'une interférence d'ondes électriques, d'un nœud sta-*

Digitized by Google

tionnaire, qui se produit dans un circuit fermé; il est simple, précis, et très sensible.

Extension de la méthode. — Il n'a été question, jusqu'ici, que du téléphone; mais il est clair qu'on obtiendrait des résultats analogues avec tout autre appareil fonctionnant par variation de potentiel du point de contact sur le conducteur. C'est ainsi que la sensation éprouvée par le doigt sur le fil passe par un minimum en même temps que le son du téléphone. Le tube de Geissler, tenu à la main, et mis en contact avec le conducteur par un des fils de platine, doit aussi montrer ce minimum; je l'ai, en effet, vérifié : l'effluve s'éteint dans la région où le téléphone devient muet.

Le tube de Geissler a l'avantage de fonctionner quelle que soit la fréquence des ondes, tandis que le téléphone n'est impressionné que par les fréquences modérées, ne dépassant pas quelques milliers par seconde; mais aussi ce dernier est beaucoup plus sensible, d'un usage plus régulier, et donne par la hauteur du son un moyen précieux d'évaluer la fréquence.

Conséquences. — Une première conséquence de cette étude est la suivante.

L'expérience montre que l'étendue de la zone neutre augmente, sur un même conducteur, avec la longueur de celui-ci (pourvu qu'elle soit inférieure à la somme des longueurs d'extinction), et, sur deux conducteurs différents, avec la conductibilité. D'autre part, la théorie indique que l'aplatissement et l'élargissement des ondes qui se rencontrent doivent déterminer un allongement de la zone neutre. Il en résulte que les ondes doivent, dans un même conducteur, s'épanouir au fur et à mesure qu'elles avancent, et, dans des conducteurs différents, s'élargir quand la conductibilité augmente.

D'autres conséquences et applications du contenu de cette Note feront l'objet de Communications ultérieures.

Digitized by Google

Sur les diélectriques hétérogènes;

Par M. A. Hess.

La théorie des diélectriques composés donnée par Maxwell est féconde en conséquences intéressantes. Elle contient implicitement l'explication de plusieurs phénomènes dont le processus intime est resté très longtemps obscur.

L'un de ces phénomènes est celui connu sous le nom de *résidu*. Un diélectrique chargé n'abandonne pas en une seule décharge rapide toute la quantité d'électricité qu'il contient; il faut, au contraire, un grand nombre de décharges successives pour l'en débarrasser complètement. Toutefois, cette considération ne suffit pas à caractériser le phénomène du résidu : un condensateur à diélectrique parfait, tout en ne formant pas de résidu, n'abandonne sa charge que par une décharge prolongée à l'infini. La véritable caractéristique du résidu est l'augmentation de la différence de potentiel qui se produit pendant la période d'isolement après une première décharge.

Dans le cas étudié par Maxwell, on suppose le diélectrique formé par la superposition d'un nombre indéfini de couches de nature différente, chacune des substances ayant son pouvoir inducteur et sa résistance spécifique propres (¹). L'égalité de l'intensité du courant dans toutes les couches permet d'écrire, en appelant ε, ε', ε'', ... les chutes de potentiel entre les faces des différentes couches, k, k', k'', ... leurs pouvoirs inducteurs et r, r', r'', ... leurs résistances spécifiques :

$$\frac{k}{4\pi}\frac{d\varepsilon}{dt}+\frac{\varepsilon}{r}=\frac{k'}{4\pi}\frac{d\varepsilon'}{dt}+\frac{\varepsilon'}{r'}=\frac{k''}{4\pi}\frac{d\varepsilon''}{dt}+\frac{\varepsilon''}{r''}=\ldots.$$

Dans le cas particulier où les produits kr sont égaux

$$kr=k'r'=k''r''=\ldots=\mathrm{A},$$

on voit que

$$\frac{1}{r}\left(\frac{\mathrm{A}}{4\pi}\frac{d\varepsilon}{dt}+\varepsilon\right)=\frac{1}{r'}\left(\frac{\mathrm{A}}{4\pi}\frac{d\varepsilon'}{dt}+\varepsilon'\right)=\frac{1}{r''}\left(\frac{\mathrm{A}}{4\pi}\frac{d\varepsilon''}{dt}+\varepsilon''\right)=\ldots.$$

(¹) La coexistence du pouvoir diélectrique et de la conductibilité a été mise hors de doute par les expériences de MM. Cohn et Arons et de M. Bouty.

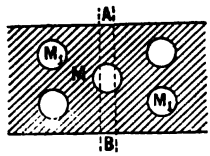
Digitized by Google

Les différences de potentiel varient donc parallèlement, c'est-à-dire qu'elles sont entre elles dans un rapport invariable avec le temps. Aucune d'elles ne peut donc s'annuler ou devenir négative sans que la somme des tensions devienne elle-même nulle ou négative, ce qui exclut la formation du résidu, comme on le verra plus loin. Ce cas est d'ailleurs celui des substances diélectriques homogènes.

En restreignant à deux le nombre des substances composantes, nous pouvons, tout en évitant une complication exagérée du calcul, donner un aperçu des diverses actions qui interviennent dans l'électrification d'un diélectrique. En outre, pour rendre les produits kr très inégaux, nous admettrons que l'une des substances est infiniment résistante. Les deux corps peuvent d'ailleurs être mélangés d'une façon quelconque; on peut toujours ramener le système à celui de deux couches superposées.

Prenons donc une lame formée d'un mélange de deux diélectriques. Dans une masse de substance M sont noyées des particules d'une autre substance M_1 (*fig.* 1). La substance M, douée

Fig. 1.



d'un certain pouvoir inducteur, possède une résistance infinie. Les corpuscules, au contraire, sont conducteurs, et ont également une certaine capacité inductive spécifique.

Si nous découpons dans cette lame un petit cylindre AB, nous obtenons un corps constitué par la superposition de couches alternativement isolantes et conductrices. Les couches de même nature peuvent être réunies sans que le système soit modifié au point de vue électrique. Finalement, il nous suffit de considérer deux couches représentant la réunion en cascade de deux condensateurs (*fig.* 2), l'un de capacité C et de résistance infinie (substance isolante), l'autre de capacité C′ et de résistance intérieure ρ' ou shunté par une résistance ρ' (corpuscule conducteur).

Examinons ce qui se passe lorsqu'on charge ce système AB, en

Digitized by Google

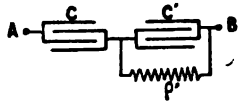
le plaçant dans un circuit de résistance R et contenant une force électromotrice constante E. La charge du premier condensateur s'opère d'après

$$(1) \qquad C\,d\varepsilon = I\,dt,$$

celle du second d'après

$$(2 \qquad C'\,d\varepsilon' = I\,dt - \frac{\varepsilon'}{\rho'}\,dt,$$

Fig. 2.



en appelant ε et ε' les différences de potentiel respectives aux armatures des deux condensateurs; de plus

$$(3) \qquad \varepsilon + \varepsilon' = E - RI.$$

Par la combinaison de (1), (2), (3), nous obtenons l'équation différentielle

$$RC'\frac{d^2\varepsilon'}{dt^2} + \left(1 + \frac{R}{\rho'} + \frac{C'}{C}\right)\frac{d\varepsilon'}{dt} + \frac{\varepsilon'}{\rho' C} = 0.$$

La solution générale de cette équation est donnée par

$$\varepsilon' = A_1 e^{\alpha_1 t} + A_2 e^{\alpha_2 t},$$

α_1 et α_2 étant les racines de l'équation du second degré

$$RC'\alpha^2 + \left(1 + \frac{R}{\rho'} + \frac{C'}{C}\right)\alpha + \frac{1}{\rho' C} = 0,$$

c'est-à-dire

$$\alpha = \frac{-\left(1 + \frac{R}{\rho'} + \frac{C'}{C}\right) \pm \sqrt{\left(1 + \frac{R}{\rho'} + \frac{C'}{C}\right)^2 - 4\frac{R}{\rho'}\frac{C'}{C}}}{2RC'}.$$

Dans le cas particulier correspondant à $t = 0$, nous avons $\varepsilon' = 0$, les condensateurs étant supposés non chargés. Il en résulte

$$A_1 = -A_2.$$

De (2) nous tirons une expression de l'intensité de charge

$$I = C'A_1(\alpha_1 e^{\alpha_1 t} - \alpha_2 e^{\alpha_2 t}) + \frac{A_1}{\rho'}(e^{\alpha_1 t} - e^{\alpha_2 t}).$$

Digitized by Google

La solution particulière $I = \frac{E}{R}$ pour $t = 0$ nous permet de déterminer A_1

$$\frac{E}{R} = C'A_1(\alpha_1 - \alpha_2),$$
$$A_1 = \frac{E}{RC'(\alpha_1 - \alpha_2)},$$

de sorte que nous pouvons écrire en définitive, après quelques transpositions,

$$I = \frac{E}{R(\alpha_1 - \alpha_2)}\left[\left(\alpha_1 + \frac{1}{C'\rho'}\right)e^{\alpha_1 t} - \left(\alpha_2 + \frac{1}{C'\rho'}\right)e^{\alpha_2 t}\right],$$
$$\varepsilon' = \frac{E}{RC'(\alpha_1 - \alpha_2)}(e^{\alpha_1 t} - e^{\alpha_2 t}),$$
$$\varepsilon = E\left\{1 - \frac{1}{\alpha_1 - \alpha_2}\left[\left(\alpha_1 + \frac{1}{C'\rho'} + \frac{1}{C'R}\right)e^{\alpha_1 t} - \left(\alpha_2 + \frac{1}{C'\rho'} + \frac{1}{C'R}\right)e^{\alpha_2 t}\right]\right\}.$$

Les coefficients α_1 et α_2 sont toujours négatifs, le radical étant toujours plus petit que le terme entre parenthèses; les termes $e^{\alpha t}$ diminuent donc avec le temps. De plus, les racines ne peuvent pas être imaginaires.

J'ai représenté dans la *fig.* 3 les courbes de ε et de ε' en fonction du temps. Les constantes, choisies de manière à accentuer les particularités de ces courbes, sont en unités C.G.S. électromagnétiques

$$C = 10^{-12}, \quad R = 10^{13},$$
$$C' = 10^{-12}, \quad \rho' = \frac{10^{14}}{2}, \quad E = 2 \times 10^{10}.$$

La courbe de ε' présente une forme intéressante; elle montre qu'au début la différence de potentiel du condensateur C' monte rapidement, mais que cet accroissement se trouve de plus en plus entravé par la perte d'une partie de la charge à travers la résistance intérieure ρ', et qu'à partir d'un certain moment la perte est supérieure au gain apporté de l'extérieur. La différence de potentiel ε' passe donc par un maximum, qui a lieu pour

$$t = \frac{1}{\alpha_1 - \alpha_2} L \frac{\alpha_2}{\alpha_1}.$$

Dans le cas particulier considéré, nous avons

$$\alpha_1 = -0{,}0095,$$
$$\alpha_2 = -0{,}2105$$

Digitized by Google

et pour ε'_{max}

$$t = 15,4 \text{ secondes.}$$

Pour un temps double du précédent la courbe ε' présente un point d'inflexion, à partir duquel elle tend à devenir asymptotique à l'axe des abscisses.

La courbe de ε, tension aux bornes du condensateur C, croît, mais évidemment beaucoup moins rapidement qu'elle ne le ferait si ce condensateur était seul en circuit. La somme $(\varepsilon + \varepsilon')$, ou la différence de potentiel de l'ensemble, augmente donc très lentement, et atteint la valeur E à l'infini, toute la charge se trouvant alors sur le condensateur C, ε' étant devenu nul et $\varepsilon = E$. La courbe de l'intensité varie, en sens contraire, avec la même lenteur que $(\varepsilon + \varepsilon')$ (¹).

A la suite de ses recherches sur la conductibilité des cristaux, M. J. Curie (²) s'est servi, pour représenter la fonction reliant l'intensité du courant au temps, de la formule

$$I = at^{-n},$$

a et n étant des constantes. On saisit mieux la signification de cette relation, comme l'a fait remarquer M. Curie, si l'on donne une grande extension au début et une importance d'autant moindre aux temps qu'ils sont plus éloignés du début, en prenant les logarithmes des deux membres. On peut alors considérer la fonction

$$\log I = \log a - n \log t,$$

et l'on voit que la courbe du logarithme de l'intensité en fonction du logarithme du temps est une droite, entre certaines limites. C'est un résultat expérimental obtenu par M. Curie pour un grand nombre de cristaux et que j'ai vérifié pour la gutta, la paraffine et le caoutchouc.

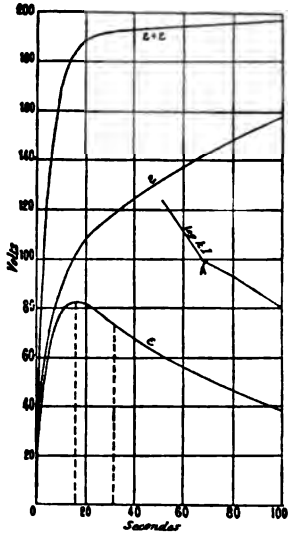
(¹) Parmi les cylindres que l'on peut découper dans la masse hétérogène normalement aux armatures du condensateur, quelques-uns peuvent être formés uniquement d'une des deux substances du mélange. Il conviendrait donc, pour étendre les calculs à la lame entière, d'ajouter au schéma des deux condensateurs en série un troisième condensateur placé en dérivation sur le système entier. Le calcul montre que les phénomènes conservent dans ce cas la même allure générale que dans le cas précédemment traité.

(²) Thèse de doctorat, juin 1888.

Digitized by Google

Or, si nous prenons les logarithmes des ordonnées de notre courbe théorique et si nous les représentons en fonction des logarithmes des temps, comme le montre la courbe $\log kI$ (*fig.* 3),

Fig. 3. — Charge de deux condensateurs en série.



nous obtenons une droite, du moins entre certaines limites. M. Curie a d'ailleurs constaté des exceptions à cette loi, notamment pour le spath, dont la courbe logarithmique est concave vers l'axe des abscisses. En modifiant convenablement les valeurs relatives des capacités, on peut passer des courbes théoriques du type général à celles dont la conductibilité du spath est un exemple.

Si l'on admet que la loi hyperbolique, aussi mise en évidence par M. Bouty, continue à représenter les faits au delà des limites entre lesquelles elle a été vérifiée, on remarque que la quantité d'électricité condensée pendant la charge tend vers l'infini avec le temps, bien que l'intensité du courant de charge tende vers zéro. C'est là un point qu'il sera intéressant d'élucider, car dans la théorie de Maxwell la quantité tend vers une limite finie en même temps que l'intensité tend vers zéro.

Digitized by Google

Absorption et résidu.

Examinons à quel genre d'actions correspondent, d'après la théorie que nous envisageons, les phénomènes de l'absorption électrique et du résidu. A cet effet, étudions successivement les périodes de charge, de première décharge, d'isolement et de décharge résiduelle d'un diélectrique. Les quatre parties des courbes de la *fig.* 4 correspondent à ces diverses périodes.

Charge. — Nous l'avons déjà étudiée en partie. Notons que, durant cette période, tout se passe comme si la capacité du système augmentait à mesure qu'il absorbe l'électricité. Le quotient de la quantité d'électricité par la différence de potentiel est ici ce que l'on peut appeler la capacité *apparente* (γ) du système

$$\gamma = \frac{Q}{\varepsilon + \varepsilon'},$$

qui est loin d'être une constante et varie avec le temps.

A l'origine, $\gamma = \frac{CC'}{C + C'}$, c'est-à-dire est égal à la vraie valeur de la capacité du système ; pendant toute la durée de la charge, la capacité apparente augmente, comme on peut le voir sur la *fig.* 4. On sait d'ailleurs que l'on s'approche d'autant plus, dans les mesures, du pouvoir inducteur vrai, que l'on emploie des charges de plus courte durée. La charge, poussée à bout, donne $\gamma = C$.

Comme on le voit, la capacité apparente peut varier entre $\frac{CC'}{C + C'}$ et C, c'est-à-dire entre des limites plus ou moins considérables selon la valeur de C'.

Décharge. — Arrêtons la charge en supprimant la force électromotrice sans modifier la résistance du circuit extérieur. Les équations

$$-C'd\varepsilon' = I\,dt + \frac{\varepsilon'}{\rho'}\,dt,$$
$$-C\,d\varepsilon = I\,dt,$$
$$\varepsilon + \varepsilon' = RI$$

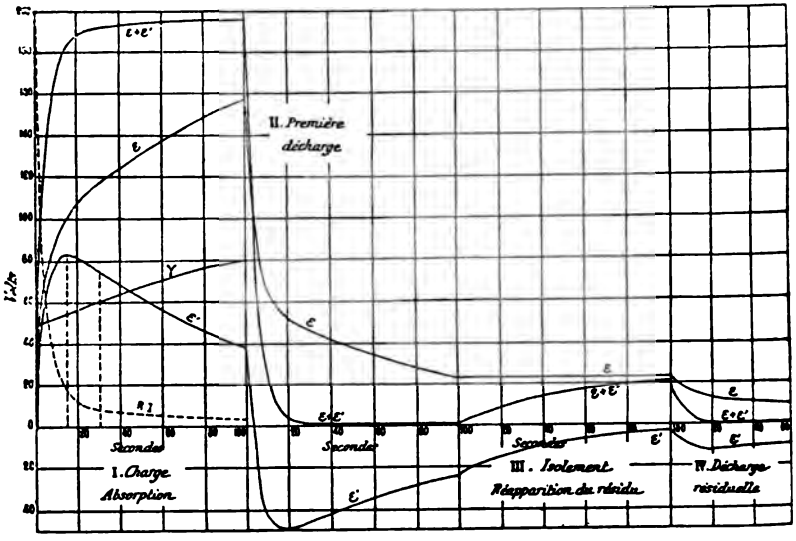
donnent

$$\varepsilon' = A_1 e^{\alpha_1 t} + A_2 e^{\alpha_2 t},$$

Digitized by Google

où α_1 et α_2 sont les deux constantes que nous avons rencontrées plus haut. Mais, comme nous avons arrêté la charge avant qu'elle fût complète (à 100°), les constantes A_1 et A_2 acquièrent des valeurs différentes de celles qu'elles avaient dans les équations de charge.

Fig. 4. — Charge et décharge d'un diélectrique; absorption et résidu.



Exprimons d'abord la valeur de I :

$$I = -C'(\alpha_1 A_1 e^{\alpha_1 t} + \alpha_2 A_2 e^{\alpha_2 t}) - \frac{1}{\rho'}(A_1 e^{\alpha_1 t} + A_2 e^{\alpha_2 t}).$$

Or, pour $t = 0$,

$$\varepsilon'_0 = A_1 + A_2,$$

$$I_0 = \frac{\varepsilon_0 + \varepsilon'_0}{R} = -C'(\alpha_1 A_1 + \alpha_2 A_2) - \frac{\varepsilon'_0}{\rho'},$$

d'où

$$A_1 = -\frac{\varepsilon_0 + \varepsilon'_0\left(1 + RC'\alpha_2 + \frac{R}{\rho'}\right)}{RC'(\alpha_1 - \alpha_2)},$$

$$A_2 = \frac{\varepsilon_0 + \varepsilon'_0\left(1 + RC'\alpha_1 + \frac{R}{\rho'}\right)}{RC'(\alpha_1 - \alpha_2)}.$$

La partie II de la *fig.* 4 représente les fonctions ε, ε' et $\varepsilon + \varepsilon'$ pour la décharge; on remarquera que I coïncide à un facteur près

Digitized by Google

avec $\varepsilon + \varepsilon'$. ε' passe par les mêmes phases que pendant la charge, mais en sens opposé, c'est-à-dire que la différence de potentiel aux bornes du condensateur C' diminue, devient nulle à un certain moment, et prend ensuite des valeurs négatives; en valeur absolue on doit donc la retrancher de la tension ε aux bornes de C, de sorte que la somme algébrique $\varepsilon + \varepsilon'$ est inférieure à ε et tombe rapidement à des valeurs très faibles.

La quantité d'électricité que contient le système est $Q = \varepsilon C$; elle varie donc, comme pendant la charge, proportionnellement à ε; et si le système ne se charge que lentement, il est aussi très long à abandonner sa charge.

Si la charge a été prolongée jusqu'à ce que la tension ε' se soit annulée et que ε soit devenu égal à la force électromotrice extérieure, la courbe de l'intensité de décharge est identique à la courbe de l'intensité de charge.

Il y a ici une remarque intéressante à faire : A une même valeur de ε, ou de la quantité d'électricité εC, correspondent deux valeurs différentes de la différence de potentiel $(\varepsilon + \varepsilon')$, selon qu'elle est considérée pendant la charge ou pendant la décharge; la charge est en retard par rapport à la différence de potentiel du système. Ce fait résulte d'ailleurs de la variation de la capacité apparente; on voit qu'il n'est dû, dans le cas considéré, ni à une hystérésis proprement dite, ni à une viscosité moléculaire, mais simplement à l'hétérogénéité du diélectrique.

Isolement. — La décharge ayant été prolongée jusqu'à ce que l'intensité du courant soit devenue excessivement faible, ouvrons le circuit et isolons le système. C'est pendant cette période que l'on constate la *réapparition lente du résidu* ou son *retour à la surface*.

Considérons la partie III de nos courbes. La différence de potentiel ε est évidemment invariable; ε', au contraire, doit diminuer, en valeur absolue, d'après la loi

$$\varepsilon' = \varepsilon'_0 e^{-\frac{t}{C'\rho'}}.$$

La courbe de ε' se trouvant au-dessous de l'axe des t, la somme algébrique $(\varepsilon + \varepsilon')$ *augmente;* on trouve donc bien, par le calcul,

Digitized by Google

le résultat que l'expérience a permis d'observer : *la différence de potentiel entre les deux faces de la lame diélectrique augmente pendant la période d'isolement.*

Décharge résiduelle. — Il suffit donc de refermer le circuit extérieur pour permettre à cette augmentation de tension de se manifester sous la forme d'une deuxième décharge, dite *résiduelle,* qui s'effectue d'après les mêmes lois que la première décharge. Une nouvelle période d'isolement fera réapparaître une nouvelle quantité de *résidu*, et ainsi de suite.

Comme nous le disions plus haut, dans le cas où $C\rho = C'\rho'$, il ne se produit pas de résidu. ε et ε' étant dans un rapport constant, ε' ne peut devenir négatif, de sorte que, pendant la période d'isolement, la différence de potentiel $(\varepsilon + \varepsilon')$ diminue au lieu d'augmenter. Pour des résistances ρ et ρ' à coefficients de température différents, les produits $C\rho$ et $C'\rho'$ peuvent être écartés ou rapprochés l'un de l'autre en faisant varier la température. Un même corps donnerait donc ou non du résidu selon la température à laquelle il serait porté.

Lorsque la structure du corps est telle que l'une des substances est disposée en filets parallèles aux lignes de force et traversant d'une armature à l'autre, le diélectrique, quoique composé, ne donne pas de décharges résiduelles; ce cas correspond à celui de deux condensateurs couplés en quantité entre eux et avec une résistance.

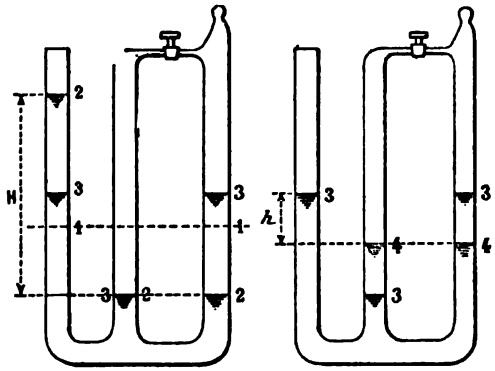
Une expérience très simple m'a permis de vérifier l'exactitude de ces considérations théoriques. Deux condensateurs à mica, l'un de 0,1, l'autre de 0,5 microfarad sont reliés en série; entre les armatures de ce dernier est placée une résistance en graphite de 100 mégohms. Ce système ne se charge que très lentement; de plus, après une première décharge, il suffit de le laisser isolé pendant un temps plus ou moins long, pour pouvoir en tirer une décharge résiduelle, et l'on peut répéter ces décharges un grand nombre de fois sans nouvelle charge préalable.

Les variations de potentiel dont ce système est le siège peuvent être représentées par les variations de niveau d'un liquide dans une combinaison de vases communiquants comme celle représentée par la *fig.* 5. Un tube en U est l'analogue hydraulique d'un con-

Digitized by Google

densateur; les deux branches y représentent les armatures, les niveaux sont à la place des potentiels et la section des tubes est comparable à la capacité. Pour représenter les trois armatures consécutives des deux condensateurs en série, on peut donc prendre un tube à trois branches (*fig.* 5), dont deux sont reliées

Fig. 5.



entre elles à leur partie supérieure par un tube de très petite section, remplaçant la résistance entre les armatures d'un des condensateurs.

Au début, les niveaux sont dans la position 1, 1; il suffit d'exercer une pression dans l'une des branches extrêmes, par exemple celle de droite, pour charger le système. Les niveaux des deux branches shuntées descendent et celui de la troisième branche s'élève (position 2). On a établi ainsi une différence de pression H. La décharge instantanée correspond à l'égalisation brusque des deux niveaux extrêmes lorsqu'on cesse d'exercer une pression (position 3); on voit que pendant cette décharge la différence des niveaux des branches de droite change de sens.

On isole le système en fermant la branche H ou h; pendant l'isolement, les niveaux des deux branches shuntées tendent à s'égaliser (position 4) en même temps qu'il s'établit peu à peu une différence de niveau h, de même sens que la première H. C'est cette différence qui donne lieu à la décharge résiduelle, qui peut être répétée après une nouvelle période d'isolement.

Digitized by Google

Variations de l'isolement apparent.

Trompé par l'excessive lenteur des variations du courant de charge, on a très souvent attribué les dernières intensités observées à la conductibilité du diélectrique. On a été ainsi amené à considérer le quotient de E par I, ou de la force électromotrice extérieure par l'intensité au temps t, comme représentant la *résistance d'isolement*. Toutefois, pour un très grand nombre de corps, l'intensité du courant tend très lentement vers zéro [1]; on ne saurait donc appliquer la loi d'Ohm avant que la charge soit complète, et le quotient E : I ne représente la résistance d'isolement que pour un temps infini; nous le désignerons par *isolement apparent*.

Une particularité bien connue des corps isolants est la diminution très rapide de leur isolement apparent lorsque la température de ces corps s'élève. Si l'on considère que les parties conductrices sont généralement formées par des électrolytes à coefficient de température négatif, on voit que les intensités de charge doivent augmenter avec la température. Lorsqu'on trace les courbes $\log I$ en fonction de $\log t$ pour diverses températures, on constate, d'après la théorie comme d'après l'expérience, que la brisure des courbes est d'autant plus rapprochée du début que la température est plus élevée.

Les mesures de l'isolement apparent effectuées avec des forces électromotrices de valeurs différentes ont donné des résultats contradictoires. Certains expérimentateurs, parmi lesquels nous citerons MM. Uppenborn et Heim, ont trouvé l'isolement variable avec la force électromotrice employée pour sa mesure. M. J. Curie a montré, au contraire, que les intensités sont rigoureusement proportionnelles aux forces électromotrices; et MM. Preece et Behn-Eschenburg ont confirmé récemment ce résultat.

La théorie développée dans ce qui précède permet, je crois, d'expliquer ces divergences. Elle indique que les intensités de charge considérées au même temps t sont proportionnelles aux forces électromotrices, à la condition que, dans les divers cas, *la*

---

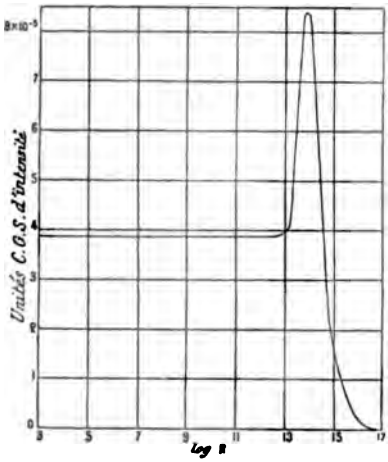
[1] Pour le mica, par exemple, d'après une expérience de M. Bouty

Digitized by Google

résistance du circuit extérieur soit la même. Or, dans les expériences citées, on ne s'est pas préoccupé de la résistance du circuit de mesure que l'on considérait comme négligeable devant celle, très grande, à mesurer, ce qu'il était illégitime d'admettre puisqu'on se trouvait en présence d'un phénomène de charge.

Pour étudier l'influence de la résistance du circuit de charge, j'ai représenté dans la *fig.* 6 la fonction qui relie cette résistance

Fig 6. — Variation de l'intensité de charge avec la résistance R du circuit de charge.



à l'intensité à un certain temps t. Les valeurs de C et C′ sont les mêmes que plus haut, $\rho' = 10^{14}$ unités C.G.S., et $t = 50^{s}$. Pour accentuer les variations des ordonnées, j'ai porté en abscisses les logarithmes de R.

On voit que, pour de faibles résistances, l'intensité varie très peu; plus loin, au contraire, elle *augmente* à mesure que la résistance *augmente*. La courbe passe par un maximum et décroît ensuite rapidement jusqu'à zéro pour $R = \infty$. La partie caractérisée par une rapide croissance de la courbe est comprise dans notre cas particulier entre $R = 10^{13}$ et $R = 10^{14}$ environ, c'est-à-dire que la résistance, dans cette partie, varie du simple au décuple.

Si donc les piles servant à la mesure ont une faible résistance intérieure, on peut en faire varier le nombre sans que l'intensité en varie autrement que dans le rapport des forces électromotrices;

Digitized by Google

l'isolement apparent sera donc trouvé constant. C'est le cas des expériences de M. Curie qui se servit de piles au bichromate et dont le quartz piezoélectrique agit comme un condensateur au début de sa charge et n'introduit pas de résistance en circuit.

Les premiers expérimentateurs cités employaient, au contraire, des piles à grande résistance intérieure; ils pouvaient se trouver dans la partie rapidement ascendante de la courbe où toute augmentation de la résistance augmente l'intensité. En faisant varier leur nombre d'éléments, et avec lui la résistance du circuit, l'intensité devait varier plus rapidement que proportionnellement à E, et pour une force électromotrice grandissante le quotient E : I devait diminuer. L'isolement apparent (non l'isolement réel) variait donc avec la tension.

Des faits analogues s'observent à la décharge : celle-ci n'est pas d'autant plus rapide que la résistance extérieure est plus petite, il existe une certaine résistance pour laquelle l'intensité de décharge, à un temps déterminé, est maxima, et cette résistance n'est pas $R = 0$. Aussi, lorsqu'un condensateur a été chargé, ce n'est pas en mettant ses armatures en court circuit qu'on le décharge le plus aisément.

J'ai observé ce fait, entre autres, sur un câble à gutta-percha; après une courte charge, ce câble fut mis en court circuit pendant seize heures, puis isolé pendant une heure; au bout de ce temps, on obtenait encore au balistique une décharge équivalant au $\frac{1}{300}$ de la charge initiale.

L'examen de notre schéma de deux condensateurs permet d'avoir immédiatement un aperçu des causes de ce fait. Si, après une première charge, on met en court circuit les armatures du condensateur ou les points extrêmes A et B du montage (*fig.* 7),

Fig. 7.

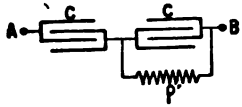
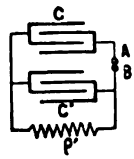


Fig. 8.

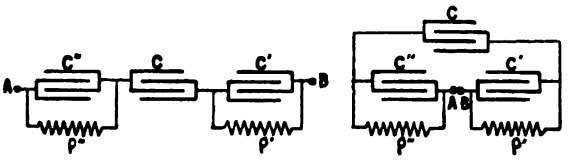


on obtient le schéma (*fig.* 8). On voit que les deux condensateurs, loin de se décharger sur un court circuit, perdent leur

Digitized by Google

charge à travers la très grande résistance ρ'. Dans le cas plus complexe où nous considérons trois condensateurs en série (*fig.* 9),

Fig. 9. Fig. 10.



la réunion en court circuit des armatures A et B (*fig.* 10) fait que le condensateur C se décharge sur un système tel que $C'\rho'$, $C''\rho''$ qui n'admet que des déplacements très lents d'électricité.

Dans la pratique des câbles électriques, l'habitude est de mettre les armatures en court circuit après chaque mesure de l'isolement. Au bout de plusieurs heures, le câble n'est pas entièrement déchargé et une nouvelle mesure fournit des intensités de charge plus faibles que les précédentes; on est ainsi amené à en conclure que l'isolement augmente dans les premiers jours après la fabrication.

L'isolement apparent subit encore des variations sous diverses autres influences dont l'étude nous entraînerait trop loin. Je n'aborderai pas non plus l'examen des diverses méthodes de mesures de l'isolement; je rappellerai seulement que ni la mesure directe de l'intensité dans les conditions habituelles, ni la mesure de la perte de charge, ne permettent de déterminer la résistance d'isolement réelle. Ces méthodes et plusieurs autres employées ou proposées donnent, dans des conditions d'application différentes, des nombres peu comparables entre eux.

En résumé, l'étude du cas simple d'un mélange de deux diélectriques permet d'approfondir quelques-unes des causes de ces phénomènes si complexes qui accompagnent l'électrification de la plupart des substances diélectriques. Il serait peut-être intéressant de ne pas s'en tenir à ce cas particulier et d'envisager celui, plus général, d'un mélange de n substances différentes, si le calcul ne devenait alors d'une complication peu encourageante. D'autre part, l'étude complète devra tenir compte des phénomènes électro-

Digitized by Google

lytiques, comme les variations de la capacité de polarisation, auxquels peuvent donner lieu quelques-unes des *n* substances d'un corps hétérogène..

Note sur les expériences aérodynamiques de M. S.-P. Langley, par M. le Commandant Ch. Renard.

(Séance du 23 avril 1892).

Le 13 juillet dernier, M. Berthelot donnait lecture à l'Académie des Sciences d'une Note de M. Langley de Washington sur la résistance de l'air aux mouvements des plans obliques. Les conclusions de cette Note étonnèrent beaucoup les personnes qui n'ont pas fait une étude spéciale des appareils de vol mécanique.

Elles établissaient, en effet, que le travail nécessaire pour soutenir un poids donné dans l'air en traînant horizontalement un plan incliné (appareils aéroplanes) diminuait au point de tendre vers zéro quand l'angle d'attaque (angle du plan avec sa trajectoire) tendait lui-même vers zéro.

Cette conclusion conduit M. Langley à affirmer qu'un appareil volant pourrait être propulsé et soutenu dans l'air au moyen d'un travail beaucoup plus faible que ce qu'on a généralement admis jusqu'ici et que les moteurs actuellement existants suffiraient largement à produire ce travail.

Sans méconnaître la grande valeur des expériences de M. Langley qui doivent être comptées parmi les plus importantes de celles qui aient jamais été exécutées sur la résistance de l'air, j'ai pensé qu'il était indispensable de rappeler que les avantages du vol oblique ont été entrevus, démontrés et développés avec plus ou moins de talent par divers auteurs dont les travaux remontent au moins au commencement du siècle et parmi lesquels on peut citer surtout des noms auglais et français.

J'ai pensé aussi qu'il convenait de ramener à leurs véritables proportions les conclusions trop favorables du savant américain au sujet du travail nécessaire pour réaliser le vol oblique.

Je n'ai pas voulu néanmoins communiquer à l'Académie mes réflexions sur ce sujet avant d'avoir entre les mains une traduction

Digitized by Google

du volumineux Mémoire de M. Langley, Mémoire que son auteur a bien voulu m'adresser il y a quelque temps.

La lecture de ce Mémoire n'a rien changé à ma première impression et je crois le moment venu de la faire connaître sommairement.

Le fait de la diminution presque indéfinie du travail nécessaire à soutenir un poids donné dans l'air quand l'angle d'attaque de l'air sur le plan remorqué tend vers zéro, loin d'être une nouveauté, est, au contraire, connu de tous les savants qui se sont sérieusement occupés du vol mécanique.

En 1809, Sir Georges Cayley, prenant pour point de départ les expériences de Borda en 1763 (*Mémoires de l'Académie des Sciences*), dit textuellement : « Il résulte des expériences de l'Académie des Sciences de France que, dans les angles aigus, la résistance (normale au plan) varie en raison directe *du sinus* et non du sinus carré, comme le croyait Newton ». Or cette loi du sinus simple a pour conséquence directe la tendance vers zéro du travail de sustentation d'un plan incliné pesant quand l'angle d'attaque tend vers zéro. Sir G. Cayley explique ainsi la faiblesse relative du travail nécessaire au vol et s'étend à plusieurs reprises sur l'avantage du vol plané ainsi compris (*Nicholson's Journal*).

Il y a environ trente ans, M. de Louvrié présenta à l'ancienne Société de Navigation aérienne une théorie du vol aéroplane en partant de la loi du *sinus simple* démontrée péremptoirement par les expériences de Borda, Hutton, Vince et surtout par celles de Thibault en 1826. Il montra que la loi du sinus carré a conduit Navier à des évaluations très exagérées du travail du vol et que la loi du sinus, au contraire, conduit à des chiffres tout à fait vraisemblables.

En 1886, Wenham présentait à la Société anglaise de Navigation aérienne un travail très complet sur le vol oblique et sur l'économie de travail qui résulte de son emploi dans la nature animée. Il fit lui-même des expériences, retrouva la loi du sinus simple et remarqua, en outre, l'avantage des rectangles marchant le grand côté en avant (comme les ailes des grands oiseaux) sur ceux qu'on fait mouvoir le petit côté le premier. Il remarqua aussi qu'on peut superposer plusieurs plans sustentateurs sans nuire à leur

Digitized by Google

action individuelle et construisit un aéroplane sans moteur basé sur ce principe.

En 1871, sans connaître les travaux de Wenham, je repris toute la théorie du vol oblique et démontrai directement la loi du *sinus simple* par un système de plans superposés (système à persiennes). Je construisis, sous le nom de *parachute dirigeable,* un aéroplane sans moteur du poids de 10^{kg} soutenu par une *persienne* de 10 lames et je l'expérimentai, en présence de nombreux témoins, du haut d'une tour de 60^{m}. La théorie du vol que j'avais rédigée à cette époque a paru en 1889 dans la *Revue de l'Aéronautique*.

Vers la même époque (1871), et sans connaître mes recherches, Pénaud reprenait avec éclat la théorie du vol aéroplane et, à la suite d'un concours, recevait pour un beau Mémoire sur le vol des oiseaux un prix de 2000^{fr} décerné par l'Académie des Sciences (1874).

On n'a pas oublié que Pénaud, mort prématurément en 1880, ne se contenta pas d'exposer, avec une netteté incomparable, les points essentiels de la théorie du vol oblique, mais qu'il construisit le premier des aéroplanes et des oiseaux mécaniques à moteur se soutenant et progressant régulièrement dans l'air sans aucun secours extérieur. Il ne pouvait fournir une meilleure preuve de la justesse de ses vues.

Vers le même temps, M. le Dr Marey commençait ses élégantes expériences sur les oiseaux et les mouvements de l'aile et fournissait un nouvel et puissant appui à la théorie rationnelle du vol oblique.

Nous sommes obligé de borner ici nos citations, mais nous pensons qu'elles suffiront pour montrer que le fait si important de l'économie de travail résultant de l'attaque très oblique de l'air dans le vol aéroplane, retrouvé par M. Langley, était connu depuis longtemps et que les conséquences en avaient été développées et mises en lumière par nombre de chercheurs.

Nous avons dit un mot de l'influence de l'orientation des plans obliques rectangulaires sur leur puissance sustentatrice, influence mise en évidence par Wenham. Pénaud comptait beaucoup sur cette influence et faisait remarquer que les grands oiseaux planeurs ont tous les ailes longues et étroites, assimilables à des rectangles marchant par leur grand côté.

Digitized by Google

En 1889, j'ai repris cette question et montré que des rectangles marchant par leur grand côté (rubans transversaux) obéissent à la loi du sinus simple et *sont de bons soutiens* tandis que les rectangles marchant par leur petit côté (rubans longitudinaux) obéissent à la loi de Newton ou du sinus carré et sont de très mauvais soutiens (*Société de Physique,* Séance du 18 janvier 1889).

Les expériences de M. Langley sont venues confirmer ces prévisions et ont démontré de nouveau la loi du sinus carré pour les plans carrés et rectangles transversaux avec des coefficients plus avantageux pour les derniers.

Nous devons ajouter que l'auteur américain s'est occupé, comme Wenham, de l'effet des plans sustentateurs superposés et que les résultats qu'il a trouvés sont venus confirmer ceux de l'expérimentateur anglais et ceux que j'avais obtenus en 1871.

Enfin il convient de citer les expériences de M. Langley sur le déplacement du point d'application de la poussée normale dans les attaques très obliques. Les résultats de ces expériences sont venus confirmer ceux que Jœssel avait obtenus en 1870.

J'arrive aux évaluations du travail nécessaire au vol. En partant de ses expériences, M. Langley trouve qu'un poids de 93^{kg} peut être soutenu par une surface plane de 17^{mq} environ, traînée sous l'angle de 2° à la vitesse de 20^{m} par seconde et que la dépense du travail, dans ces conditions, ne serait que de 1 cheval-vapeur (75^{kgm}).

Cette évaluation du travail du vol est trop faible. En effet, M. Langley ne l'obtient qu'en négligeant complètement la résistance de la carène aérienne (tranche des ailes, corps du navire aérien, bambous, etc). Mais, si l'on néglige cette résistance, le travail de sustentation tend rigoureusement vers zéro. Il suffit, pour le réduire au-dessous d'une grandeur donnée, de choisir un angle d'attaque assez petit. Malheureusement, la vitesse de marche devient alors très grande et un deuxième terme du travail, dû à la résistance de la carène, d'abord négligeable, et qui devient tout à fait prépondérant pour les très petits angles. On voit donc que le travail total comprend deux termes : la résistance du plan idéal qui tend vers zéro avec l'angle d'attaque et la résistance de la carène qui tend vers l'infini.

La somme a donc un minimum, et j'ai démontré que ce minimum

Digitized by Google

a lieu quand le premier terme est égal au triple du second. A ce moment, le travail, par kilogramme de poids soutenu, est donné par la relation $t = k \frac{\mu \lambda^2}{\varphi^2}$, dans laquelle k est un coefficient variable avec la forme du plan; φ le coefficient de la résistance de l'air au mouvement d'un plan, normalement à sa direction (résistance pour 1^{mq} et 1^{m} de vitesse); μ le rapport des *résistances normales* de la carène et du plan sustentateur, et λ la charge des ailes en kilogrammes par mètre carré.

En partant de cette formule et des valeurs de k déduites des expériences mêmes de M. Langley, en donnant à μ la très faible valeur $\frac{1}{200}$ qui paraît applicable aux oiseaux de taille moyenne et à λ la valeur 5 qu'elle avait effectivement dans les expériences américaines, on trouve, pour le travail minimum $t = 1,20$, ce qui donnerait, pour 93^{kg}, un travail de 112^{kgm}, soit environ 1 cheval et demi.

Le travail réel dépensé sur l'arbre du propulseur serait de deux chevaux au moins. Comme le moteur proprement dit ne peut représenter qu'une fraction du poids total ($\frac{1}{4}$ au maximum), on voit que le fonctionnement de l'appareil exige la construction d'un moteur du poids de 23^{kg} environ et produisant 2 chevaux ou, en d'autres termes, que la réalisation du vol mécanique nécessite l'emploi de moteurs ne pesant que 11^{kg} par cheval. Mais ces chiffres sont trop favorables pour les grands appareils dans lesquels on sera conduit nécessairement à augmenter beaucoup la charge des ailes par mètre carré et nous croyons que le vol mécanique ne sera un problème pratiquement abordable qu'avec des moteurs ne pesant que 5^{kg} à 6^{kg} par cheval.

On pourra trouver ce moteur léger, mais il restera à résoudre bien d'autres problèmes pratiques avant de lancer dans l'espace un navire aérien docile pouvant s'élever d'un point quelconque du sol et atterrir sans choc dangereux.

Est-ce à dire que nous considérions la réalisation du vol mécanique comme une utopie? Certes, non. Nous croyons, au contraire, que ce beau problème sera résolu un jour; d'ici là, les expériences si complètes, si bien conduites de M. Langley seront d'un précieux secours à ceux qui y consacreront leurs veilles.

Digitized by Google

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1892.

Almanach-Annuaire de l'Électricité et de l'Électrochimie. — Année 1892. Publié par M. Firmin Leclerc ; br. in-18.

American Journal of Science (the). — 3e série, vol. XLII et XLIII, 1892; in-8°.

Annalen der Physik une Chemie, neue Folge. — Band XLIV à XLVI, 1892.

Annales de Chimie et de Physique. — 6e série, t. XV, XVI et XVII, 1892; 3 vol. in-8°.

Annales de l'École polytechnique de Delft. — Année 1892; in-4°.

Annales de l'Institut météorologique de Roumanie. — Publié par S.-C. Hepites, t. V, 1889; 1 vol. in-4°.

Annales télégraphiques. — 3e série, t. XIX, année 1892; in-8°.

Annuaire pour l'an 1892. — Publié par le Bureau des Longitudes. Paris, Gauthier-Villars et fils; in-18.

Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution to July 1889. — 1890; 2 vol. in-8°.

Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution. Report of the U. S. National Museum, for the year ending June to 1889. — 1 vol. in-8°

Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève.

Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie. — Band XVI, 1892.

Boletin de la Sociedad nacional de mineria de Santiago de Chile. — Année 1892; in-4°.

Boletin mensual del Observatorio meteorologico del Colegio pio de Villa Colon. — Montevideo, année 1891; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société belge d'Électriciens. — T. VIII, année 1892; in-8°.

Bulletin de la Société française de Minéralogie. — T. XV, année 1892; in-8°.

Bulletin de la Société internationale des Électriciens.— Année 1892; in-4°.

Digitized by Google

Bulletin de la Société nationale d'encouragement pour l'Industrie nationale. — T. VI, 4e série, 1892; in-4°.

Bulletin de la Société philomathique de Paris. — 8e série, t. IV, 1891-1892; in-8°.

Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles. — 3e série, vol. XXVIII, n° 106.

Bulletin de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore. — 2e série, t. II, 1891; in-8°.

Bulletin des Sciences physiques. — Publié par les soins de la Société amicale des élèves et anciens élèves de la Faculté des Sciences de Paris, t. IV, avril-mai 1892; vol. in-8°.

Bulletin international de l'Académie des Sciences de Cracovie. — Année 1892; in-8°.

Bulletin international de l'Électricité. — Année 1892; in-4°.

Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences: t. CXIV et CXV, 1892; in-4°.

Cronica cientifica, revista internacional de Ciencias. — T. XV, 1892.

Electrician (The). — Vol. XXVII et XXVII, 1892; in-4°.

Électricien (L'). — Revue internationale de l'Électricité et de ses applications. 2e série, t. IV, année 1892; in-8°.

Fortschritte der Physik im Jahre 1886; in-8°.

Journal de Physique théorique et appliquée, fondé par J.-Ch. d'Almeida et publié par MM. E. Bouty, A. Cornu, E. Mascart, A. Potier. 3e série, 1892: 1 vol. in-8°.

Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales. — Vol. XXV, 1891, Part II; 2 vol. in-8°.

Journal de la Société physico-chimique de Saint-Pétersbourg. — T. XXIV, 1892.

Journal de Physique, Chimie et Histoire naturelle élémentaires. — Publié par M. A. Buguet. 6e année, 1892; in-8°.

Journal of the Institution of Electrical Engineers including original Communications on Telegraphy and Electrical Science. — Vol. XXI. 1892.

La Revue industrielle. — Année 1892; in-4°.

Mémoires de la Société d'Émulation du Doubs. — 6e série, VIe vol., 1891. Besançon, Dodivers et Cie, 1892; 1 vol. in-8°.

Mémoires et comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils. — 4e série, 45e année, année 1892.

Digitized by Google

Memorias y revista de la Sociedad cientifica. — Antonio Alzate (Mexico); t. VI, 1892.

Ministère de l'Instruction publique. — Revue des Travaux scientifiques, t. XII, 1891; in-8°.

Moniteur industriel. — Vol. XIX, année 1892; in-4°.

Nature (de Londres). — Vol. XLVI, 1892; in-4°.

Pamietnik Academii Umiejetnosciw Krakowie Tomo osiemnastego. — Zeszyt 2, 1892; in-4°.

Paris-Photographe. — Publié par M. Nadar, année 1892; 1 vol. in-8°.

Philosophical Magazine, and Journal of Science.— Fifth series, vol. XXXIII and XXXIV, 1892.

Proceedings and Transactions of the Nova Scotian Institute of natural Science of Halifax, Nova Scotia. — Vol. VII, 1888-1889, Part III; in-8°.

Proceedings of the Physical Society of London. — Vol. XI, Part III et IV, 1892; in-8°.

Proceedings of the Royal Society. — Vol. L et LI, 1892; in-8°.

Proceedings of the Royal Society of Edinburg. — Vol. XVII; in-8°.

Pubblicazioni della Specola Vaticana. — Fascicule I, 1891; in-8°.

Revue de l'aéronautique théorique et appliquée. — 3e année, 1890, 4e livraison; in-4°.

Revue générale des Sciences pures et appliquées. — Publiée par M. Louis Olivier, 3e année, 1892; in-4°.

Rosprawy Akademii Umiejetnosci Wydziall Matematyczno-Przyrodciczy. — Seyria 2, t. III. Krakow, 1891; 1 vol. in-8°.

Sale List Publications of the Smithsonian Institutio. — January 1892. Washington, Smithsonian Institution, 1892; in-8°.

Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society (The).— Vol. VIII, 1892; in-8°.

Scientific Transactions of the Royal Dublin Society (The). — Vol. IV, 2e série, nos 10 à 13; in-4°.

Société nationale d'encouragement pour l'Industrie nationale.— Procès-verbaux des séances. Année 1892; in-8°.

Abbadie (Ant. d'). — La fluctuation des latitudes terrestres, lettre à M. Radau (Extr. *Bull. astronomique*, mars 1892); br. in-8°.

Bergonié (J.) et **Moure (E.-J).** — Du traitement par l'électrolyse des déviations et éperons de la cloison du nez Paris, Doin, 1892; br. in-8°.

Digitized by Google

Bonaparte (Prince Roland). Les variations périodiques des glaciers (Extr. *Annuaire du Club alpin français*, 17e vol., 1890); br. in-8°.

— Une excursion en Corse. Paris, G. Chamerot, 1891; 1 vol. in-4°.

— Démocratie suisse. Paris, 1890; br. in-16.

— Assemblées démocratiques en Suisse. Paris, 1890; br. in-16.

Brunhes (Julien). — Esquisse des progrès de la Physique dus aux savants de la Bourgogne (Extr. *Mémoires de l'Académie de Dijon*, t. II, 4e série, 1891); br. in-8°.

— Sur deux sortes de verglas observés à Dijon; br. in-8°.

Casalonga (D.-A). — L'Exposition universelle française de 1900-1901. Historique de la proposition qui en fut faite en novembre 1889. Paris, Imprimerie de la *Chronique industrielle*, 1892; br. in-8°.

— Roentgen et la machine Compound (Extr. *Chronique industrielle*, 1892); in-8°.

Colson. — La Photographie sans objectif. Conférence du 27 décembre (Extr. *Ann. du Conservatoire des Arts et Métiers*, 2e série, t. IV, 1892). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1892; br. in-8°.

— L'énergie et ses transformations, Mécanique, Chaleur, Lumière, Chimie, Électricité, Magnétisme. Paris, G. Carré, 1891; 1 vol. in-8°.

Couette (M.). — La théorie mécanique de la lumière (Extr. *Revue des Fac. catholiques de l'Ouest*). Angers, Lachèze et Cie, 1892; br. in-8°.

Desforges (commandant). — Mesure de l'intensité absolue de la pesanteur dans la salle du comparateur universel au Bureau international des Poids et Mesures, à Breteuil (Extr. *Annexes aux Procès-Verbaux du Comité international pour* 1891). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1892; br. in-8°.

Duclaux (E.). — Cours de Physique et de Météorologie professé à l'Institut agronomique. Paris, A. Hermann, 1891; 1 vol. in-8°.

Dvořák (V.). — Quecksilberpipette (Extr. *Zeitschrift für Inst.*, 1891, sept.); in-4°.

— Ueber verschiedene Arten selbthatiger Stromunterbrecher und deren Werwendung (Extr. *Zeitschrift für. Inst.*, 1891, décembre); br. in-4°.

Elie (B.). — La fonction vectorielle et ses applications à la Physique (Thèse). Bordeaux, G. Gounouilhou, 1892; in-8°.

Fabry (Ch.). — Théorie de la visibilité et de l'orientation des franges d'interférence (Thèse). Marseille, Barlatier et Barthelet, 1892; in-4°.

Fontaine (H.).— Électrolyse. Renseignements pratiques sur le nickelage, la dorure, l'argenture, le cuivrage, la galvanoplastie, le traitement des métaux, le blanchiment, etc., au moyen de l'électricité. 2e édition. Paris, Baudry et Cie, 1892; 1 vol. in-8°.

Digitized by Google

Goldhammer (D.-A). — Zur electrischen Theorie der Magnetooptischen Erscheinungen (Extr. *Ann. der Phys. und Chemie*, XLVII, 1892); br. in-8°.

— Studien über die electrische Lichttheorie (Extr. *Ann. der Phys. und Chemie*, XLVII, 1892); br. in-8°.

— Die Dispersion und Absorption des Lichtes nach der electrischen Lichttheorie (Extr. *Ann. der Phys.*, Band XLVII, 1892); br. in-8°.

— Das Kerr'sche magnetooptische Phänomen und die magnetische Circularpolarisation nach der electrischen Lichttheorie (Extr. *Ann. der Phys. und Chemie*, XLVI, 1892); in-8°.

— Bemerkungen zur Abhandlung des Hrn. E. Cohn « Zur Electrodynamik der Leiter (Extr. *Ann. der Phys. und Chemie*, XLVI, 1892); in-8°.

Goulier (C.-M., colonel). — Etudes théoriques et pratiques sur les levers topographiques et en particulier sur la Tachéométrie. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1892; in-8° (offert par M. le capitaine Bertrand).

Gray (John). — Les machines électriques à influence. Exposé complet de leur histoire et de leur théorie suivi d'instructions pratiques sur la manière de les construire. Traduit de l'anglais et annoté par M. *G. Pellissier*. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1892; 1 vol. in-8°.

Guillaume (Ch.-Ed.). — Possibilité d'une comparaison directe entre la vitesse de propagation de la lumière et des actions électromagnétiques (Extr. *Arch. des Sciences physiques et naturelles de Genève*, t. XXVIII, 1892); br. in-8°.

— Report on Constants and Units (Extr. *British Association*, 1892); br. in-8°.

— Sur la variation thermique de la résistance électrique du mercure (Extr. *Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, septembre 1892); br. in-4°.

Hermann (H.). — Méthode pour chiffrer et déchiffrer les correspondances secrètes. Paris, Hermann, 1892; br. in-8°.

Hesehus (N.). — Sur la formation des grêlons (en russe). (Extr. *Société physico-chimique russe de Saint-Pétersbourg*, 1892); br. in-8°.

— Ueber Brechung und Geschwindigkeit des Schalles in Porösen, den Schall durchlassenden Körper (Extr. *Report der Phys.* 1892); br. in-8°.

Jamin et **Bouty.** — Cours de Physique de l'Ecole Polytechnique, 4e édition, augmentée et entièrement refondue. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1891; 5 vol. in-8°.

Janssen et **Bourgeois (Léon).** — Discours prononcés à la séance générale du Congrès des Sociétés savantes, le samedi 11 juin 1892. Paris, Imprimerie nationale, 1892; br. in-4°.

Jaumann (G.).— Notiz über eine Methode zur Bestimmung der Lichgeschwindigkeit (Extr. *Acad. de Vienne*, déc. 1891); br. in-8°.

— Absolutes Elektrometer mit Kuppelsuspension (Extr. *Akad. der Wissenschaften in Wien*, Januar 1892); br. in-8°.

Digitized by Google

— Versuch einer chemischen Theorie auf vergleichendphysikalischer Grundlage. (Extr. *Akad. der Wissenschaft. in Wien.* Bd. CI, Abth. II, mai 1892); br. in-8°.

— Ueber das Auftreten von Interferfenzflächen in dem blauen Kathodenlicht, 1892; br. in-4°.

Lagrange (Eug.) et **Hoho (P.)**. — Étude sur un phénomène lumineux et calorifique produit par le courant électrique dans les liquides (Extr. *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique*, t. XXII, 1891); br. in-8°.

Lera (Enrico Boggio). — Calcolo della forza elettrica nella scarica fra due sfere (Extr. *Acad. R. dei Lincei*, 1891); br. in-4°.

Leray (le P. **A.**). — Complément de l'essai sur la synthèse des forces physiques. Chaleur et pesanteur. Théories cinétiques. Cohésion et affinité. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1892; 1 vol. in-8°.

Lussana (S.). — Influenza della temperatura sulla forza elettromotrice degli elementi a concentrazione e sul trasporto degli ioni (Extr. *Atti del R. Istituto veneto di Scenze e Lettere di Torino*, t. III, sér. 7, 1892; br. in-8°.

Martin (Ad.). — Détermination des courbures de l'objectif grand angulaire pour vues, présenté au Concours de la Société française de Photographie (Extr. *Bulletin de la Société française de Photographie*, 2e série, t. VIII, 1892). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1892; br. in-8°.

Mendizabal Tamborrel (J. de). — Table des Logarithmes à huit décimales des nombres 1 à 125000 et des fonctions goniométriques sinus, tangente, cosinus et cotangente de centimiligone en centimiligone et de microgone en microgone pour les 25000 premiers microgones et avec sept décimales pour les autres microgones. Paris, A. Hermann, 1891; vol. in-4°.

Mirinny (L.). — Mémoire sommaire sur la théorie de l'actinocinèse en général et de la lumière en particulier (2e fasc. provisoire). Paris, Chaix, 1892; br. in-18°.

Noe (G. de la, colonel). — Le colonel Goulier (Extr. *Revue du génie militaire*). Paris, Berger-Levrault et Cie, 1892; in-8°, t. VI, 1892.

Peschard (A.). — L'orgue électrique n'est pas d'invention américaine. Paris, Larousse, 1892; br. in-8°.

Raffard (N.-J). — Historique de l'application de la vapeur surchauffée aux machines à vapeur fixes et aux locomotives (Extr. *Bulletin technologique de la Société des anciens élèves des Écoles nationales des Arts et Métiers*). Paris, Chaix, 1892; in-8°.

Sebert (général). — Congrès international de Photographie. 1re et 2e sessions. Paris, 1889; Bruxelles, 1891. Vœux, résolutions et documents publiés par les soins de la Commission permanente d'après le travail de M. le général Sebert, inséré dans le *Bulletin de la Société française de Photographie*. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1892; br. in-8°.

Stoletow (A.-G.). — Aktinoelektrische Untersuchungen (Extr. *Physikalische Revue*, Band I, 1892). Stuttgard, J. Engelhorn; br. in-8°.

Digitized by Google

— Ueber den kritischen Zustand der Körper (Extr. *Physikalische Revue,* Band I, 1892). Stuttgard, J. Engelhorn; br. in-8°.

Tumlirz (**Dr O.**). — Théorie électromagnétique de la lumière. Ouvrage traduit de l'allemand par M. G. Van der Mensbrugghe. Paris, A. Hermann; 1892.

Vidal. — La photogravure en relief et en creux ; la photochromographie et leurs applications à l'industrie du livre. Conférence du 7 février 1892. (Extr. *Ann. du Cons. des Arts et Métiers,* 2e série, t. VI); br. in-8°.

Violle (**J.**). — Cours de Physique, t. II. Acoustique et Optique, 2e Partie : Optique géométrique. Paris, G. Masson, 1892; 1 vol. in-8°.

— L'œuvre scientifique de M. Edmond Becquerel. Leçon d'ouverture professée au Conservatoire des Arts et Métiers le 15 janvier 1892 (Extr. *Ann. du Cons. des Arts et Métiers,* 1892); in-8°.

Wallon (**E**). — L'histoire d'un objectif photographique. Conférence du 14 février 1891 (Extr. *Ann. du Conserv. des Arts et Métiers,* 2e série, t. IV, 1892). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1892; br. in-8°.

Wiedemann (**E.**). — Ueber elektrische Entladungen (Extr. *Ann. der Phys.,* 1891); br. in-8°.

Wiedemann (**E.**) and **Ebert** (H.). — Ueber elektrische Entladungen. 2 Abhandlung (Extr. *Sitzungsberichte der Physikal-med. Soc. zu Erlangen,* Febr. 1892); br. in-8°.

Digitized by Google

Digitized by Google

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

LISTE DES MEMBRES.

ANNÉE 1893

Digitized by Google

Digitized by Google

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, 44.

(1893.)

BUREAU.

MM. LIPPMANN, *Président.*
JOUBERT, *Vice-Président.*
PELLAT, *Secrétaire général.*
TOUANNE (DE LA), *Secrétaire.*
BERGET, *Vice-Secrétaire.*
GAY (J.), *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :		*Membres non résidants :*	
MM. BRILLOUIN.	1891.	MM. GOUY (Lyon).	1891.
DEFFORGES.		HURION (Clermont-Ferrand).	
RIVIÈRE.		SARASIN (Genève).	
VIEILLE.		TEPLOFF (Saint-Pétersbourg).	
AMAGAT.	1892.	BLONDLOT (Nancy).	1892
HOSPITALIER.		CHAPPUIS (P.) (Lausanne).	
KROUCHKOLL.		GÉRARD (ERIC) (Liège).	
LEDUC.		MOUTON (Fontenay-sous-Bois).	
MM. BECQUEREL.	1893.	ANDRÉ (Lyon).	1893.
CANCE.		GUÉBHARD (Nice).	
VASCHY.		GUYE (Ph.-A.) (Genève).	
WYROUBOFF.		PILTSCHIKOFF (Kharkoff).	

Digitized by Google

ANCIENS PRÉSIDENTS.

1873.	MM.	FIZEAU.
1874.		BERTIN.
1875.		JAMIN.
1876.		QUET.
1877.		BECQUEREL (Ed.).
1878.		BLAVIER.
1879.		BERTHELOT.
1880.		MASCART.
1881.		CORNU.
1882.		GERNEZ.
1883.		JANSSEN.
1884.		POTIER.
1885.		MAREY.
1886.		SEBERT.
1887.		WOLF.
1888.		ROMILLY (de).
1889.		MASCART.
1890.		MALLARD.
1891.		FRIEDEL.
1892.		VIOLLE.

MM. ALMEIDA (d'), *Secrétaire général, Fondateur* (1873-1880).
JOUBERT, *Secrétaire général honoraire* (1880-1890).
NIAUDET, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1875-1882).
MAURAT, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1883-1890).

Digitized by Google

MEMBRES HONORAIRES (¹).

MM. **FIZEAU** (**A.-H.-L.**), Membre de l'Institut.

STOKES (**G.-G.**), Professeur à l'Université de Cambridge (Angleterre).

Sir WILLIAM THOMSON [**Lord Kelvin**], F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).

BELL (**Alex. Graham**), de Washington (États-Unis).

BERTHELOT (**M.**), Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.

JANSSEN (**J.**), Membre de l'Institut.

BERTRAND (**J.**), Membre de l'Académie Française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.

ROWLAND, Professeur à l'Université Johns Hopkins, à Baltimore (États-Unis).

DONATEURS (²).

	fr
COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI	2000
COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI	1000

(¹) *Membres honoraires décédés :*

MM. A. Becquerel.	1874-78.
V. Regnault.	1876-78.
Secchi.	1876-78.
Billet.	1876-82.
Plateau.	1880-83.
Jamin.	1882-86.
Edlund.	1884-88.
Broch.	1878-89.
Joule.	1878-89.
Hirn.	1890-90.
Ed. Becquerel.	1882-91.

Extrait des Statuts, Art. IV. — Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'étranger.

Les Membres honoraires ont voix délibérative dans les séances de la Société et du Conseil. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Il ne peut en être nommé plus de deux chaque année.

Leur nombre est de dix au plus.

(²) Les noms des personnes qui auront donné à la Société une somme supérieure ou égale à 500fr resteront inscrits, avec le chiffre de la donation, immédiatement après les Membres honoraires, et avant les Membres à vie, sous le titre de Donateurs. Les Membres à vie pourront acquérir ce titre en ajoutant une somme de 300fr à leur souscription perpétuelle. (Décision du Conseil du 1er décembre 1891.)

Digitized by Google

MM. **ANONYME** (pour aider à la publication des Mémoires)..... 5000fr
GUEBHARDT, agrégé à la Faculté de Médecine de Paris (pour l'amélioration de la Bibliothèque)..... 10000
ANONYME (pour aider à la publication du volume des constantes)..... 5000
JENNESSON, Principal de Collège (Legs)..... 500
ANONYME (Solde des comptes de la Société chez MM. Gauthier-Villars et fils)..... 5547,50
BISCHOFFSHEIM, Membre de l'Institut..... 1500
SAUTTER et **LEMONNIER**, Une machine dynamo.

MEMBRES A VIE (1).

MM. D'Abbadie, Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.
* Abria, professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
* D'Almeida, Inspecteur général de l'Instruction publique, Secrétaire général de la Société.
Alvergniat, Constructeur d'instruments de physique, 10, rue de la Sorbonne.
Angot, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma.
Arnoux (René), Ingénieur civil, 16, rue de Berlin.
Aubert, Professeur au Lycée Condorcet, 139, rue de Rome.
Baille, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.
Baume Pluvinel (comte de la), 7, rue de la Baume.
Bardy, Directeur du Laboratoire central des Contributions indirectes, 26, rue du Général-Foy.
Bandsept, Ingénieur, 58, chaussée de Wavre, à Bruxelles.
Baron, Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 64, rue Madame.
Berthelot, Sénateur, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.
Bienaymé, Directeur du matériel au Ministère de la Marine, 74, rue de Rennes.
Bischoffsheim (Raphaël-Louis), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout.
Bjerknes (Wilhelm), au laboratoire de Physique de l'Université de Christiania (Norwège).
* Blavier, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.

---

(1) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs ou quatre versements de 50 francs pendant quatre années consécutives. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées en valeurs garanties par l'État et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société. (Statuts, Art. III, dernier paragraphe.)

(*) Membres décédés.

Digitized by Google

MM. Blondel, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 2, boulevard Raspail.
Blondin, Professeur au Lycée d'Orléans.
Blondlot, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy.
Boitel, Professeur au Lycée Lakanal, 5, route de l'Hay, à Bourg-la-Reine.
Bordet (Lucien), Inspecteur des Finances, ancien élève de l'École Polytechnique, 181, boulevard Saint-Germain.
Bouty, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.
Branly, Professeur à l'École libre des Hautes Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville.
* Bréguet (Antoine), ancien élève de l'École Polytechnique.
Brewer, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 76, boulevard Saint-Germain.
Brillouin, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 23, rue de Sèvres.
* Brion, Professeur de Physique.
Brisse (Ch.), Répétiteur à l'École Polytechnique, 18, rue Vauquelin.
Broca (André), Ancien élève de l'École Polytechnique, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 211, boulevard Saint-Germain.
Buchin, 11, rue Roland, à Bordeaux.
* Cabanellas, Ingénieur électricien.
Cadot, Professeur au Lycée de Bourges.
Cailho, Ingénieur des Télégraphes, à Montpellier.
Canet, Directeur de l'Artillerie des forges et chantiers de la Méditerranée, 3, rue Vignon.
Carpentier, ancien élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de Physique, 34, rue du Luxembourg.
Carvallo, Examinateur d'admission à l'École Polytechnique, 19, villa Saïd.
Caspari, Ingénieur hydrographe de la Marine, 30, rue Gay-Lussac.
Chabaud (Victor), Constructeur d'instruments de Physique, 12, rue de la Sorbonne.
Chancel (Félix), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille.
Chaves (Antonio Ribeiro), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).
Chervet, Professeur au Lycée Saint-Louis, 18, rue Nicole.
Colardeau (Emmanuel), Professeur au Collège Rollin, 29, avenue Trudaine.
Compagnie des Chemins de fer du Midi, 54, boulevard Haussmann.
Compagnie des Salins du Midi, 84, rue de la Victoire.
Contal, Préparateur de Physique au Collège Rollin, 12, avenue Trudaine.
Cornu, Membre de l'Institut, 9, rue de Grenelle.

Digitized by Google

MM. Curie (Pierre), Préparateur de Physique à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 13, rue des Sablons, à Sceaux.

Defforges (le Commandant G.), détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, 41, boulevard de La Tour-Maubourg.

Delebecque, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon.

Dollfus (Eugène), Chimiste, fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse.

Drouin (Félix), 21 *bis*, boulevard Port-Royal, Paris.

* Duboscq (Jules), Constructeur d'instruments de Physique.

Duclaux, Membre de l'Institut, Professeur à l'Institut agronomique, 35 *ter*, rue de Fleurus.

Duclos, ancien Directeur d'École normale à Cérisols, par Sainte-Croix de Volvestre (Ariège).

Dufet, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 35, rue de l'Arbalète.

Dumoulin-Froment, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

Dybowski, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg.

Engel, Professeur à l'École Centrale, 50, rue d'Assas.

Favé, Ingénieur hydrographe, 82, rue de l'Université.

Fernet, Inspecteur général de l'Instruction publique, 9, rue de Médicis.

Fontaine (Hippolyte), Ingénieur électricien, 52, rue Saint-Georges.

Foussereau, Secrétaire de la Faculté des Sciences, 56, boulevard de Port-Royal.

Friedel, membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

Gariel (C.-M.), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

Gauthier-Villars, Libraire-Éditeur, 55, quai des Grands-Augustins.

Gay (Jules), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 6, rue de Mézières.

Gayon, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la station agronomique, 41, rue Permentade, à Bordeaux.

Gernez, Maître de conférences à l'École Normale supérieure, 18, rue Saint-Sulpice.

Godard (Léon), Docteur ès sciences, 82, boulevard Saint-Germain.

Godefroy (l'abbé), Professeur de Chimie à l'Institut catholique, 5, avenue d'Orléans.

Godron (H.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 18, rue du Vieux-Colombier.

Goloubitzky, Collaborateur de la Société des amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

* Gotendorf (Silvanus), 39, rue de Clichy.

Gramont (Armand de), Licencié ès Sciences, 81, rue de Lille.

Gray (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India Rubber, Gutta and telegraph works C° limited, à Londres.

Digitized by Google

MM. Grosseteste (William), Ingénieur, 11, rue des Tanneurs, Mulhouse.

Grouvelle, Ingénieur, professeur à l'École Centrale, 26, rue des Écoles.

Guébhard, Agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, Villa Mendiguren, à Nice.

Hugo (Comte Léopold), 14, rue des Saints-Pères.

Infreville (Georges d'), Électricien de la *Western Union Telegraph*, Export de la *National Bell Telephone Co*, 110, Liberty Street, New-York (États-Unis).

* Jamin, Membre de l'Institut.

Javal, Directeur du laboratoire d'Ophtalmologie à la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

* Jennesson, Ancien Principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

Jénot, Professeur au Collège Rollin, 17, rue Caulaincourt.

Joly, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 45, rue d'Ulm.

Joubert, Inspecteur général de l'Instruction publique, 67, rue Violet.

Kœchlin (Horace), Chimiste, 16, rue Masséna, à Lyon.

Laurent (Léon), Constructeur d'instruments d'optique, 21, rue de l'Odéon.

Le Bel, Ancien Président de la Société chimique, 25, rue Franklin.

Leblanc, ancien Élève de l'École Polytechnique, 63, allée du Jardin Anglais, au Raincy.

Le Chatelier (André), Ingénieur des constructions navales, 25, cours Gambetta, à Lyon.

Le Chatelier (Louis), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 95, rue de Rennes.

Le Cordier (Paul), chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

Leduc, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 136, rue d'Assas.

Lemoine (E.), Ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

Lemonnier, ancien élève de l'École Polytechnique, 194, rue de Rivoli.

Lemström (Selim), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

Lequeux, Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac.

Leroy, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail.

Lespiault, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Létang (Paul), 34, boulevard Saint-Michel.

Lippmann, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue de l'Éperon.

Lyon (Gustave), Ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

Mach (Dr E.), Professeur de Physique à l'Université de Prague (Autriche).

Mallard, Membre de l'Institut, Ingénieur en Chef des Mines, Professeur de Minéralogie à l'Ecole des Mines, 11, rue de Médicis.

Digitized by Google

MM. Maneuvrier, Agrégé de l'Université, Sous-Directeur du Laboratoire des recherches à la Sorbonne, 54, rue Notre-Dame-des-Champs.

Martin (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.

Mascart, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 176, rue de l'Université.

Masson (G.), Libraire-Editeur, 120, boulevard Saint-Germain.

Maurat, Professeur honoraire au Lycée Saint-Louis, à Rochecorbon (Indre-et-Loire).

Menier (Henri), 8, rue de Vigny.

Meslin, Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Montpellier.

* Meyer (Bernard), Ingénieur des Télégraphes.

Molteni, Ingénieur-Constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.

* Moncel (comte du), Membre de l'Institut.

Montefiore (Lévi), Sénateur, Ingénieur, Fondateur de l'Institut électrotechnique, à Liège.

Muirhead (Dr Alexandre F. C. S.), 3, Elm Court, Temple E. C. Londres.

Nerville (de), Ingénieur des Télégraphes, 116, boulevard Haussmann.

Nogué (Émile), Attaché à la maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas.

* Niaudet, Ingénieur civil.

Ogier (Jules), Docteur ès Sciences, Chef du laboratoire de Toxicologie, 1, quai d'Orsay.

Ollivier (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

Palmade, Professeur au lycée de Nîmes.

Pavlidès (Démosthènes), Docteur en Médecine, 14, rue Cadet.

Pellat, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

Pérard (L.), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, Liège (Belgique).

* Pérot, Dessinateur et Graveur.

Picou, Ingénieur des Arts et Manufactures, 75, avenue de la Grande-Armée.

Piltschikoff (Nicolas), Professeur à l'Université de Kharkoff (Russie).

Poincaré, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 14, rue du Regard.

Poincaré (Lucien), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 99, rue de Rennes.

Popp (Victor), Administrateur directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 54, rue Étienne-Marcel.

Potier, Ingénieur en chef des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel.

Poussin (Alexandre), Ingénieur, au château de La Houblonnière, par Lisieux.

Pupin, Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

Puyfontaine (Comte de), 34, avenue Friedland.

Raffard (N.-J.), Ingénieur, 5, avenue d'Orléans.

Digitized by Google

MM. Raymond, Ingénieur des Constructions navales, à Toulon.
* Raynaud, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.
Renault, Licencié ès Sciences physiques, 25, rue Brézin.
Ribière (Charles), Ingénieur des ponts et chaussées attaché au service des phares, 6, rue Bizet.
Rigout (A.), Docteur en Médecine, 10, rue Gay-Lussac.
Rivière, Professeur au Lycée Saint-Louis, 17, rue Gay-Lussac.
Rodde (Ferd.), 3, cité Magenta.
Rodde (Léon), rua do Ouvidor, 107, à Rio de Janeiro (Brésil).
Rodocanachi (Emmanuel), 54, rue de Lisbonne.
Roger, Chef d'institution honoraire, 161, rue Saint-Jacques.
Romilly (de), 25, avenue Montaigne.
Romilly (Paul de), Ingénieur en Chef des Mines, 7, rue Balzac.
Sainte-Claire Deville (Emile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 9, rue Brémontier.
* Sainte-Claire Deville (Henri), Membre de l'Institut.
Salet, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 120, boul. Saint-Germain.
Schwedoff, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).
Sebert, Général d'Artillerie de Marine, 14, rue Brémontier.
Seligmann-Lui, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.
* Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres.
Strauss, Capitaine du Génie, attaché au Dépôt des fortifications, 8, rue Saint-Dominique.
Street (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, 71, rue Treilhard.
Teploff, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimirskaïa, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg.
* Terquem, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille.
* Thollon, Physicien à l'Observatoire de Nice.
Thouvenel, Professeur au Lycée Charlemagne, 100, rue de Rennes.
Touanne (de la), Ingénieur des Télégraphes, 13, rue Soufflot.
Tuleu, Ingénieur, 58, rue Hauteville.
Vagniez (Édouard), à Amiens.
* Van den Kerchove, Sénateur, Gand (Belgique).
Vaschy, Ingénieur des Télégraphes, répétiteur à l'École Polytechnique, 68, avenue Bosquet.
Vautier (Théodore), Chargé des Conférences de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.
Verrier (Gabriel), Ingénieur électricien, ancien élève diplômé de l'École Centrale et de l'École supérieure de Télégraphie, 13, boulevard Saint-Germain.
Villiers (Antoine), agrégé à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

Digitized by Google

MM. Violle, Maître de Conférences à l'Ecole Normale supérieure, 89, boulevard Saint-Michel.

Wallon (E.), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 24, rue de Saint-Pétersbourg.

* Warren de la Rue, Correspondant de l'Institut.

Weiss, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 119, boulevard Saint-Germain.

Weyher, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de machines, 36, rue Ampère.

Wunschendorff, Ingénieur des Télégraphes, 92, rue de Rennes.

Wyrouboff, Docteur ès Sciences, 141, rue de Rennes.

Babinski, Ingénieur civil des Mines, 54, rue Bonaparte.

Benoit (René), Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

Bourgeois (Léon), Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue du Cardinal-Lemoine.

Brunhes (Bernard), Agrégé, préparateur à la Faculté des Sciences, 61, rue Claude-Bernard.

Cauro (Joseph), Ancien élève de l'École Polytechnique, 6, rue Berthollet.

Chabry (Dr L.), Docteur ès Sciences, 8, rue Halévy.

Chautard, Doyen honoraire de la Faculté libre des Sciences de Lille, au Château de la Chapelle, par Croissanville (Calvados).

Claverie, Censeur du Lycée Buffon.

Culmann (P.), Docteur ès Sciences, Wartstrasse 659, Winterthur (Suisse).

Dambier, Professeur au Collège Stanislas, 16, rue du Luxembourg.

Galimard, Pharmacien de 1re classe, à Dijon.

Gall (Henry), Directeur de l'Usine de produits chimiques, à Villers, par Hermes (Oise).

Gérard (Anatole), Ingénieur-Electricien, 16, rue des Grandes-Carrières.

Gouré de Villemontée, Professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy.

Husson, Contrôleur du câble télégraphique, à Haïphong (Tonkin).

Janet (Paul), Chargé de cours à la Faculté des Sciences, 1, rue Molière, à Grenoble.

Jobin, Ancien élève de l'École Polytechnique, 21, rue de l'Odéon.

Kerangué (Yves de), Capitaine en retraite, à Kernouël, près Paimpol (Côtes-du-Nord).

Krouchkoll, Docteur ès Sciences, 17, rue du Faubourg Saint-Jacques.

Lapresté, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Charlet.

Laviéville, Professeur au Lycée Condorcet, 56, rue de Lisbonne.

Lechat, Professeur honoraire de Physique au Lycée Louis-le-Grand, 181, rue de Courcelles.

Digitized by Google

MM. Le Chatelier (Henry), Ingénieur des Mines, Professeur de Chimie générale à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs.

Limb, Ingénieur, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 212, rue Saint-Jacques.

Macé de Lépinay, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille.

Macquet (Auguste), Ingénieur au corps des Mines, Professeur à l'École des Mines du Hainaut, à Mons (Belgique).

Moser (Dr James), Privat-Docent à l'Université, VIII, Laudongasse, 43, à Vienne (Autriche).

Palmade, Capitaine du Génie, à Lille.

Pérot (Alfred), Chargé d'un Cours supplémentaire de Physique à la Faculté des Sciences, 119, boulevard Longchamps, à Marseille.

Perreau, Agrégé-Préparateur au Collège de France.

Pollard (Jules), Ingénieur de la Marine, 28, rue Bassano.

Rozier (F.), Docteur en Médecine, 19, rue du Petit-Pont.

Serpollet, Ingénieur, 27, rue des Cloys.

Digitized by Google

Digitized by Google

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABBADIE (d'), Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

ABDANK-ABAKANOWICZ, Ingénieur conseil, 7, rue du Louvre.

ABRAHAM, Agrégé-Préparateur de Physique à l'École Normale supérieure.

ADAM, Professeur au Lycée de Poitiers.

AGUILAR Y SANTILLAN (Raphael), Préparateur de Physique à l'École Normale de Mexico (Mexique).

ALBERT (Fernand), Professeur au Collège de Pontoise.

ALLUARD, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 22 *bis*, place de Jaude, Clermont-Ferrand.

ALVERGNIAT, Constr. d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.

AMAGAT, Correspondant de l'Institut, Répétiteur à l'École Polytechnique, 34, rue Saint-Lambert.

AMET (E.), aux usines Saint-Hubert, à Sézanne (Marne).

ANDRÉ (Ch.), Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire de Lyon.

ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma.

ANTHONISSEN (Joseph), 21, rue Hauteville.

APPERT (Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur verrier, 50, rue de Londres.

ARCHAMBAULT (J.), Professeur en retraite, 9, boulevard du Temple.

ARGYROPOULOS, Professeur de Physique à Athènes (Grèce).

ARMAGNAT, Ingénieur, 20, rue Delambre.

ARNOUX (René), Ingénieur civil, 16, rue de Berlin.

ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.

ARSONVAL (Dr d'), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur suppléant au Collège de France, 28, avenue de l'Observatoire.

ARTH, Chargé d'un Cours de Chimie industrielle à la Faculté des Sciences de Nancy.

ARTHAUD, Chef des travaux histologiques au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 1, rue Larrey.

ATTAINVILLE (d'), Docteur en Médecine, 7, rue Brunel.

AUBERT, Professeur au Lycée Condorcet, 139, rue de Rome.

AUDIBERT, Professeur au Collège de Béziers.

AYLMER (John), Ingénieur, 4, rue de Naples.

AYMONNET (J.-F.), Professeur de Physique, 54, boulevard Arago.

BABINSKI, Ingénieur civil des Mines, 54, rue Bonaparte.

BABLON, 42, rue Boulard.

BAILLAUD, Directeur de l'Observatoire de Toulouse.

Digitized by Google

MM.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

BAILLY, Professeur au Lycée de Pau.

BANDSEPT, Ingénieur, 58, chaussée de Wavre, à Bruxelles (Belgique).

BANET-RIVET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 19 *bis*, boulevard de Port-Royal.

BARBIER (**Paul**), Ingénieur, 129, avenue de Villiers.

BARDEL, Libraire, à Évreux.

BARDY, Directeur du laboratoire central de l'Administration des Contributions indirectes, 26, rue du Général-Foy.

BARON, Directeur à l'Administration des Postes et Télégraphes, 64, rue Madame.

BARRAUD (**Ph.**), Docteur en Médecine, 50, rue Saint-Placide.

BARY (**Paul**), Ingénieur électricien, 5, rue Gay-Lussac.

BASSET, Professeur au Lycée de Bourges.

BASSOT, Membre de l'Institut, Lieutenant-Colonel du Génie, Chef de la Section de Géodésie au Service géographique de l'armée, 16, rue Saint-Dominique.

BASTIDE, Employé au Secrétariat de la Faculté des Sciences de Paris.

BATTELLI (**Angelo**), Professeur à l'Université de Padoue (Italie).

BAUDOT, Inspecteur-Ingénieur des lignes télégraphiques, 6, rue Mayet.

BAUME PLUVINEL (**Comte Aymar de la**), 7, rue de La Baume.

BEAULARD (**Fernand**), Professeur au Lycée, 1, rue Adanson, à Aix.

BÉCORDEL (**H. de**), Receveur principal à Grasse.

BECQUEREL (**Henri**), Membre de l'Institut, Répétiteur à l'École Polytechnique, 21, boulevard Saint-Germain.

BÉDART, Professeur agrégé de Physiologie à la Faculté de Médecine de Lille.

BÉDOREZ, Proviseur du Lycée de Nancy.

BEGHIN (**Auguste**), Professeur à l'École nationale des Arts industriels, 20, rue Vauban, à Roubaix.

BELL (**Alexander Graham**), 95, Scott Circle, Washington D. C. (U. S. A).

BELLATI (**Manfredo**), Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).

BENAVIDES (**Francisco da Fonseca**), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BENOIT (**René**), Docteur ès sciences, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres.

BERGER (**Georges**), Député, 8, rue Legendre.

BERGERON (**J.**), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire de Géologie à la Faculté des Sciences, 157, boulevard Haussmann.

BERGET (**Alphonse**), Docteur ès sciences attaché au laboratoire des recherches physiques à la Sorbonne, 16, rue de Vaugirard,

BERGON, Ancien Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 56, rue Madame.

BERGONIÉ (D^r^), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine, 27, rue Gouvion, à Bordeaux.

Digitized by Google

MM.

BERNARD (**Alfred**), Professeur au Lycée de Périgueux.

BERNARD, Préparateur de Physique, au Lycée de Bastia.

BERSON, Professeur à la Faculté des Sciences, 3, avenue Frisac, à Toulouse.

BERTHELOT, Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 3, rue Mazarine.

BERTHELOT (**Daniel**), Docteur ès sciences, Préparateur à la Faculté des Sciences, 3, rue Mazarine.

BERTIN-SANS, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier.

BERTRAND (**J.**), Membre de l'Académie Française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 4, rue de Tournon.

BERTRAND (**A.-L.**), Capitaine du Génie, attaché à la Section technique du Génie au Ministère de la Guerre, 8, rue Saint-Dominique.

BESANÇON (**M.-J.**), Professeur à l'École Turgot, 14, avenue du Val Roger, à Villiers-sur-Marne (Seine-et-Marne).

BESOMBES (**Noël**), Inspecteur des postes et télégraphes, 2, place Saint-Michel, à Marseille.

BESSON (**Léon**), Ancien Officier de Marine, Sous-Chef de l'Exploitation à la Compagnie générale Transatlantique, 6, rue Aubert.

BEZODIS, Professeur honoraire au Lycée Henri IV, 9, avenue Marceau.

BIBLIOTHÈQUE DES FACULTÉS, à Caen.

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSITAIRE DE LILLE.

BIBLIOTHÈQUE ROYALE DE BERLIN.

BICHAT, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy, 1 *bis*, rue des Jardiniers.

BIDAUX (**Maurice**), Pharmacien de 1re classe, à Chaville.

BIENAYMÉ, Directeur du matériel au Ministère de la Marine, 74, rue de Rennes.

BISCHOFFSHEIM (**Raphaël-Louis**), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout.

BJERKNES (**Vilhelm**), au Laboratoire de Physique de l'Université de Christiania (Norwège).

BLOCH (**Salvator**), Professeur au Lycée de Clermont-Ferrand.

BLONAY (**Roger de**), 23, rue Larochefoucauld.

BLONDEL, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 2, boulevard Raspail.

BLONDIN, Professeur au Lycée, Venelle de Gien, villa Bombarde, à Orléans.

BLONDLOT (**R.**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy.

BOBILEFF, Professeur de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOISARD (**Louis**), Agrégé des Sciences Physiques, Professeur à l'École Monge, 51, rue Rennequin.

BOITEL, Professeur au Lycée Lakanal, 5, route de l'Hay, à Bourg-la-Reine.

BOCAT (**l'abbé**), Licencié ès sciences physiques, Professeur au Collège Saint-François-de-Salles, rue Vannerie, à Dijon.

BONAPARTE (**Prince Roland**), 22, Cours la Reine.

Digitized by Google

MM.

BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.

BONIOL, Professeur de Mathématiques, 108, rue des Ternes.

BONVALOT, Ingénieur-Constructeur d'instruments de précision, 1, place Saint-Jean, à Dijon.

BORDET (**Lucien**), ancien Élève de l'École Polytechnique, Inspecteur des Finances, 181, boulevard Saint-Germain.

BORGMANN, Professeur à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOUANT, Professeur au Lycée Charlemagne, 20, rue Monsieur-le-Prince.

BOUASSE (**Henri**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Toulouse.

BOUCHER (**Ch.**), Préfet des Études au Collège Chaptal, 45, boulevard des Batignolles.

BOUDRÉAUX, Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique, 5, place Jussieu.

BOULANGER (Julien), Commandant du Génie, Attaché au Dépôt des fortifications, 23, boulevard du Montparnasse.

BOULOUCH (**R.**), Professeur au Lycée de Bordeaux.

BOURGEOIS (**Léon**), Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue du Cardinal-Lemoine.

BOURRUT-DUVIVIER, Professeur à l'École Navale, 89, rue de Siam, à Brest.

BOUSQUET (**E.**), Directeur de l'École normale de Nice.

BOUTAN, Inspecteur général de l'Instruction publique, 172, boul. Voltaire.

BOUTET DE MONVEL, Professeur en retraite, 5, rue des Pyramides.

BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

BOZZOLA (**l'abbé J.-B.**), Professeur au Séminaire de Padoue (Italie).

BRACHET (**Henri**), Ingénieur électricien, 3, quai Fulchiron, à Lyon.

BRANLY (**E.**), Professeur à l'Ecole libre des Hautes Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville.

BREWER (**William J.**), Constructeur d'instruments pour les sciences, 75 boul. Saint-Germain.

BRIEU (**Georges**), Professeur à l'École Normale, 12, rue des Forgerons, à Périgueux.

BRILLOUIN (**Marcel**), Maître de Conférences à l'École Normale supérieure. 23, rue de Sèvres.

BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie Parisienne du gaz, 7 *bis*, rue de l'Aqueduc.

BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 18, rue Vauquelin.

BROCA (**André**), ancien Élève de l'École Polytechnique, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 211, boulevard Saint-Germain.

BROUQUIER (**l'abbé**), Directeur du petit Séminaire de Toulouse.

BROWNE (**H.-V.**), Représentant de la compagnie Direct Spanish Telegraph, à Barcelone (Espagne).

BRUNHES (**Julien**), Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

BRUNHES (**Bernard**), Agrégé-Préparateur à la Faculté des Sciences, 61, rue Claude-Bernard.

Digitized by Google

MM.

BRUNNER, Constructeur d'instruments de précision, 57, boulevard Montparnasse.

BUCHIN, 11, rue Rolland, à Bordeaux.

BUCQUET (**Maurice**), Président du *Photo-Club de Paris*, 34, rue de Chaillot.

BUDDE (Dr), Rédacteur au *Fortschritte*, Klopstock-strasse, 53, à Berlin. N. W.

BUGUET (**Abel**), Professeur au Lycée de Rouen.

BUISSON (**Maxime**), Chimiste, rue Saint-Thomas, à Évreux.

CADIAT, Ingénieur, 62, rue des Tournelles.

CADOT, Professeur au Lycée de Bourges.

CAEL, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 31, rue Saint-Guillaume.

CAILHO, Ingénieur des Télégraphes, à Montpellier.

CAILLETET, Membre de l'Institut, à Châtillon-sur-Seine, et 75, boulevard Saint-Michel.

CAILLOL DE PONCY, Professeur à l'École de Médecine, 8, rue Clapier, à Marseille.

CALMETTE, Professeur au prytanée militaire de la Flèche.

CANCE, Ingénieur électricien, 9, rue de Rocroy.

CANET (**Gustave-Adolphe**), Directeur de l'Artillerie des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 3, rue Vignon.

CARPENTIER, ancien Élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de Physique, 34, rue du Luxembourg.

CARRÉ, Professeur au Lycée, 1, place Gambetta, Châteauroux.

CARIMEY, Professeur au Lycée de Besançon.

CARVALLO, Examinateur d'admission à l'École Polytechnique, 19, villa Saïd.

CASALONGA, Ingénieur civil, 11, rue des Déchargeurs.

CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 30, rue Gay-Lussac.

CASTEX (**Edmond**), Professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Lille.

CAURO (**Joseph**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 6, rue Berthollet.

CAVAILLÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.

CAVIALE, Professeur de Physique à l'École Normale de Versailles, boulevard de Lesseps, à Versailles.

CAVAILLÈS, Préparateur de Physique au Lycée de Nice.

CAZES, Maître répétiteur au Lycée Saint-Louis.

CHABAUD (**Victor**), Constructeur d'instruments de précision, 12, rue de la Sorbonne.

CHABERT (**Léon**), Ingénieur électricien, 194, rue de Rivoli.

CHABRERIE, Principal du Collège de Treignac (Corrèze).

CHABRIÉ (**Camille**), Docteur ès Sciences, 9, avenue de Saxe.

CHABRY (Dr **L.**), Docteur ès sciences, 8, rue Halévy.

CHAMAND (**Joseph**), Chef de bataillon au 46e territorial, 9, rue des Jardins Fleuris, à Pompey (Meurthe-et-Moselle).

CHAMBERT (**Paul**), rue de la Manufacture, à Châteauroux.

Digitized by Google

MM.

CHANCEL (**Félix**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille.

CHAPERON (**Georges**), Ingénieur civil des Mines, Répétiteur à l'Ecole Polytechnique.

CHAPPUIS (**James**), Professeur à l'École centrale, 5, rue des Beaux-Arts.

CHAPPUIS (**Pierre**), attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

CHAPUY (**Paul**), Ingénieur des Mines, à Lille.

CHARDONNET (**le comte de**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 20, place de l'État-Major, à Besançon, et 43, rue Cambon, à Paris.

CHARTRAND, Docteur en Médecine, Professeur à l'Université de Montréal (Canada).

CHASSAGNY, Professeur au Lycée de Poitiers.

CHASSY, Professeur à la Faculté libre de Lyon.

CHATELAIN (**Michel**), au Laboratoire de l'Université, à St-Pétersbourg (Russie).

CHAUSSEGROS, Ingénieur, chef de traction au chemin de fer, 3, place Jussieu.

CHAUTARD, Doyen honoraire de la Faculté libre des Sciences de Lille, au Château de la Chapelle, par Croissanville (Calvados).

CHAUVEAU, ancien Élève de l'Ecole Normale Supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau Central, 51, rue de Lille.

CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).

CHENEVIER, Directeur du Laboratoire de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, 8, rue Tanesse, à Bordeaux.

CHERVET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 18, rue Nicole.

CHIBOUT, Ingénieur, Constructeur d'appareils de chauffage, 36, rue Notre-Dame-des-Champs.

CHISTONI (**CIRO**), Professeur à l'Université de Modène (Italie).

CHWOLSON (**Oreste**), Professeur à l'Université Impériale, Wassili Ostrow. 12 signe, Maiven 7, Logement 3, à Saint Pétersbourg (Russie).

CIVIALE (**A.**), 2, rue de la Tour-des-Dames.

CLAVEAU, Professeur au Lycée d'Angoulême.

CLAVERIE, Censeur du Lycée Buffon, boulevard de Vaugirard.

COLARDEAU (**P.**), Professeur au Lycée de Lille.

COLARDEAU (**Emmanuel**), Professeur au Collège Rollin, 29, avenue Trudaine.

COLLIGNON (**Benoît**), ancien Élève de l'École Polytechnique, Professeur de Mathématiques, 17, rue Berbisey, à Dijon.

COLLOT (**Armand**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'Instruments de précision, 8, boulevard Edgar-Quinet.

COLNET D'HUART (**de**), Membre de l'Académie Royale de Belgique, ancien Directeur des finances du Grand-Duché de Luxembourg, à Luxembourg.

COLNET D'HUART (**François de**), Docteur ès sciences, Professeur à l'Athénée, avenue Reinsheim, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLSON (**R.**), Capitaine du Génie, 66, rue de la Pompe.

Digitized by Google

MM.

COMBES (**A.**), Docteur ès sciences, Ancien élève de l'École Polytechnique, 14, rue du Val-de-Grâce.

COMBES (**Charles**), Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles, 119 *bis*, rue Notre-Dame-des-Champs.

COMBET (**Candide**), Professeur au Collège de Pontarlier.

COMBETTE, Inspecteur général de l'Université, 63, rue Claude-Bernard.

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI, 54, boulevard Haussmann.

COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI, 84, rue de la Victoire.

CONTAL, Préparateur de Physique au Collège Rollin, 12, avenue Trudaine.

CORNU, Membre de l'Institut, 9, rue de Grenelle.

CORVISY (**A.**), Professeur au Lycée, 75, rue Carnot, à Saint-Omer.

COUETTE (**Maurice**), Docteur ès sciences, Professeur à la Faculté libre, 26, rue Appert, Angers.

COUPIER, à Saint-Denis-Hors, par Amboise.

COURQUIN (**l'abbé**), Professeur de filature à l'École industrielle, 174, rue de Lille, à Tourcoing.

COURTOY, Professeur à l'École vétérinaire, 47, rue Bara, à Bruxelles (Belgique).

CROIX (**Victor**), Professeur au Collège communal, avenue du Clos, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

CROVA, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 14, rue du Carré-du-Roi, Montpellier.

CUÉNOD, Ingénieur électricien, 10, boulevard Voltaire, à Genève.

CULMANN (**P**), Docteur ès sciences, Wartstrasse 659, Winterthur (Suisse).

CURIE (**Pierre**), Préparateur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 13, rue des Sablons, à Sceaux.

DAGUENET, Professeur au Lycée, 8, rue Montbauron, à Versailles.

DAMBIER, Professeur au Collège Stanislas, 131, boulevard Raspail.

DAMIEN, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille, 49, rue Brûle-Maison.

DEDET (**François**), Professeur honoraire de Physique, à Albi.

DEFFORGES (le Commandant **G.**), détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, 41, boulevard de Latour-Maubourg.

DÉGOSSES (**L.**), Professeur au Collège de Pontoise.

DELAUNAY (**Nicolas**), Professeur à l'École Impériale de Droit, à Saint-Pétersbourg (Russie).

DELAURIER, Ingénieur, 77, rue Daguerre.

DELEBECQUE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon.

DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.

DELEVEAU, Professeur au Lycée, 39, rue de Lodi, à Marseille.

DEMERLIAC, Professeur au Lycée de Caen.

DE METZ, Privat-Docent à l'Université d'Odessa (Russie).

DEMICHEL, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 24, rue Pavée-au-Marais.

Digitized by Google

MM.

DENZA (**R. P.**), Directeur de l'Observatoire « Specola Vaticana », Rome (Italie).

DEPREZ (**Marcel**), Membre de l'Institut, 23, avenue Marigny, à Vincennes.

DESCHAMPS (Dr **Eugène**), Professeur de Physique à l'École de Médecine de Rennes.

DESLANDES, ancien Officier de marine, 20, rue Larochefoucauld.

DESLANDRES, ancien Élève de l'École Polytechnique, 43, rue de Rennes.

DESPRATS (**André**), 7, avenue des Ponts, à Lyon.

DESROZIERS, Ingénieur civil des Mines, 74, rue Condorcet.

DETAILLE (**Charles**), Professeur au Lycée, 18, rue Charbonnerie, à Saint-Brieuc.

DEVAUX, Professeur au Lycée de Lorient.

DEVAUX (**Henri**), Docteur ès sciences, à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

D'HENRY (**Louis**), 6, boulevard de Port-Royal.

DIDIER (**P.**), 8, rue Gay-Lussac.

DIETRICH (**Ch.**), Dessinateur et graveur, 3, rue Hautefeuille.

DIERMAN (**William**), Ingénieur électricien, Directeur de la Société anonyme belge pour l'éclairage et la transmission électrique à grande distance, 27, rue de la Sablonnière, à Bruxelles (Belgique).

DINI, Ingénieur de la Maison Dumoulin-Froment, 49, rue Saint-Placide.

DOIGNON (**L.**), Ingénieur constructeur, 30, rue du Luxembourg.

DOLLFUS (**Eugène**), Chimiste, fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse (Alsace).

DOMMER, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielle de la Ville de Paris, 10, avenue Mac-Mahon.

DONGIER, Professeur au Lycée de Besançon.

DORGEOT (**Gabriel**), Capitaine d'Artillerie, en garnison à Saint-Servan.

DOUCEUR, Directeur des postes et télégraphes, retraité, 42, rue Jouffroy.

DRINCOURT, Professeur au Collège Rollin, 59, rue des Martyrs.

DROUIN (**Félix**), Ingénieur, 5, rue Descombes.

DUBOIS, Professeur au Lycée, 31, rue Cosette, à Amiens.

DUBOIS (**René**), Professeur au Lycée Montaigne, 56, boulevard de Port-Royal.

DUBOSCQ (**Albert**), Constructeur d'instruments d'Optique et de précision, 55, rue Saint-Jacques.

DUCHEMIN, Ingénieur, 37, boulevard de la Tour-Maubourg.

DUCLAUX, Membre de l'Institut, Professeur à l'Institut agronomique, 35 *ter*, rue de Fleurus.

DUCLOS, Ancien Directeur d'École normale, à Cerisols, par Sainte-Croix-de-Volvestre (Ariège).

DUCOMET, Ingénieur, 7-9, rue d'Abbeville.

DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue Claude-Bernard.

DUFET, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 35, rue de l'Arbalète.

Digitized by Google

MM.

DUFOUR (**Henri**), Professeur de Physique à l'Université La Casita, à Lausanne (Suisse).

DUHEM (**P.**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 78, rue Caumartin, à Lille.

DUMOULIN-FROMENT, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

DUPAYS (**Charles**), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 51, rue Scheffer, Villa 17, Passy-Paris.

DUPRÉ, Inspecteur de l'Académie de Paris, 136 *bis*, avenue de Neuilly, à Neuilly (Seine).

DUSSY, Professeur au Lycée, rue Montigny, à Dijon.

DUTER, Professeur au Lycée Henri IV, 16, rue Bertin-Poiré.

DVORÁK (Dr **V.**), Professeur à l'Université d'Agram (Autriche-Hongrie).

DYBOWSKI (**A.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg.

EBEL, Ingénieur en Chef du Secteur électrique des Champs-Élysées, 52, faubourg Saint-Honoré.

ÉCOLE MUNICIPALE DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE INDUSTRIELLES (**le Major de la 3e année**).

EDELBERG, Ingénieur opticien, à Kharkoff (Russie).

EGOROFF (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Académie de Médecine de Saint-Pétersbourg (Russie).

EICHTHAL (baron **d'**), 42, rue Neuve-des-Mathurins.

EIFFEL (**Gustave**), Ingénieur, 1, rue Rabelais.

ÉLIE (**B.**), Professeur au Collège, 90, rue de la Pointe, à Abbeville.

ENGEL, Professeur à l'École Centrale, 50, rue d'Assas.

ESTRADA (**Francisco**), Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).

FABRY (**Charles**), Professeur au Lycée de Marseille.

FAILLOT, Professeur au Lycée de Chambéry.

FAURE (**Camille A.**), Ingénieur, 31, rue Lesdiguières, à Grenoble.

FAVÉ, Ingénieur hydrographe de la Marine, 82, rue de l'Université.

FAVARGER, Ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse).

FAYE, Membre de l'Institut, 95, avenue des Champs-Élysées.

FERNET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 9, rue de Médicis.

FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de l'Estrapade.

FONTAINE (**Hippolyte**), Ingénieur électricien, 52, rue Saint-Georges.

FONTAINE, Chimiste, 20, rue Monsieur-le-Prince.

FONTAINE (**Émile**), Professeur au Lycée de Sens.

FOURNIER (le Dr **Alban**), à Rambervillers (Vosges).

FOURTEAU, Proviseur du Lycée Janson de Sailly.

FOURTIE (le Commandant), attaché au service Géographique de l'Armée, 16, rue Saint-Dominique.

Digitized by Google

MM.

FOUSSEREAU, Secrétaire de la Faculté des Sciences, 56, boulevard de Port-Royal.

FRICKER (le Dr), 39, rue Pigalle.

FRIEDEL, Membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 19, rue de Sèvres.

GAIFFE (**Georges**), Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.

GALANTE, Constructeur d'instruments de Chirurgie, 2, rue de l'École-de-Médecine.

GALIMARD, Pharmacien de 1re classe, 42, rue des Forges, à Dijon.

GALL (**Henry**), Directeur de l'Usine des Produits chimiques, à Villers, par Hermes (Oise).

GARBAN, Inspecteur d'Académie, à Alençon.

GARBE, Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

GARÉ (l'Abbé), Professeur à l'École Saint-Sigisbert, à Nancy.

GARIEL (**C.-M.**), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

GARNUCHOT, Professeur au Collège, 37, rue Saint-Barthélemy, à Melun.

GAUBERT, Horloger-Électricien, à Gruissan (Aude).

GAUDIN (**G.**), Ancien élève de l'École Polytechnique, Professeur au Collège Stanislas, 38, rue Gay-Lussac.

GAUTHIER-VILLARS, Imprimeur-Éditeur, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

GAUTHIER-VILLARS (**Albert**), Imprimeur-Éditeur, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

GAY (**Henri**), Professeur en congé, 20, boulevard de Port-Royal.

GAY (**Jules**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 6, rue de Mézières.

GAYON, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 41, rue Permantade, à Bordeaux.

GENDRON (**Rodolphe**), Préparateur de Physique à l'Institut catholique, 25, rue Campagne-Première.

GEORGUIEWSKY (**Nicolas**), Adjoint à l'École des Torpilleurs marins, Classe des officiers des mines, à Cronstadt (Russie).

GÉRARD (**Anatole**), Ingénieur électricien, 16, rue des Grandes-Carrières.

GÉRARD (**Éric**), Directeur de l'Institut électrotechnique de Montefiore, à Liège.

GERNEZ, Maître de conférences à l'École Normale supérieure, 18, rue Saint-Sulpice.

GHESQUIER (l'Abbé), Professeur à l'Institution Notre-Dame-des-Victoires, 76, rue du Collège, à Roubaix.

GILBAULT, Professeur au Lycée, 31, rue Pargaminière, à Toulouse.

GIRARDET, Professeur honoraire au Lycée Saint-Louis, ancien Membre du Conseil supérieur de l'Instruction publique, 90, rue Claude-Bernard.

Digitized by Google

MM.

GIRAULT, Professeur au Collège Chaptal, 8, rue Claude-Pouillet.

GIROUX, Ingénieur opticien, successeur de M. Roulot, 58, quai des Orfèvres.

GODARD (**Léon**), Docteur ès sciences, 82, boulevard Saint-Germain.

GODEFROY (l'Abbé **L.**), Professeur de Chimie à l'Institut catholique, 5, avenue d'Orléans.

GODFRIN, Professeur au Lycée, 12, rue André, à Lille.

GODRON (**Henri**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 18, rue du Vieux-Colombier.

GODY (**G.**), Architecte du département des travaux publics, 15, rue du Viaduc, Bruxelles (Belgique).

GOLAZ (**L.**), Constr. d'instruments à l'usage des Sciences, 282, rue Saint-Jacques.

GOLDHAMMER (**Démétrius**), Privat-docent de Physique à l'Université de Kasan (Russie).

GOLOUBITZKY (**Paul**), Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

GOSSART (**Fernand**), Docteur en droit, 15, rue Tronchet.

GOSSART (**Émile**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 23, rue Bosnières, à Caen.

GOSSIN, Proviseur du Lycée Ampère, à Lyon.

GOURÉ DE VILLEMONTÉE, Professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy.

GOUY, Professeur à la Faculté des Sciences, 4, cours Perrache, à Lyon.

GRAJON (**A.**), Docteur en Médecine, à Vierzon.

GRAMONT (**Armand de**), Licencié ès Sciences physiques, 81, rue de Lille.

GRAVIER (**Alfons**), Ingénieur électricien, 8, rue Charlet.

GRAY (**Matthew**), Directeur de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.

GRAY (**Robert Kaye**), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works C°, Silwertown, Essex, à Londres.

GRÉHANT (D^r^), Directeur-adjoint du Laboratoire de Physiologie générale, au Muséum, 17, rue Berthollet.

GRELLEY, Directeur de l'École Supérieure du Commerce, 102, rue Amelot.

GREZEL (**Louis**), Professeur de Physique au Collège d'Autun.

GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences, 12, rue du Mont-Thabor, à Rennes.

GRIVEAUX, Professeur au Lycée, 16, rue Montbrillant, à Mont-Plaisir (Lyon).

GROGNOT (**L.**), Chimiste, Essayeur du Commerce, rue du Bourg, à Chantenay-sur-Loire (Maison Chopin) (Loire-Inférieure).

GROOT (le P. **L.-Th. de**), Kerkstraat, 14, Oudenbosch (Hollande).

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, 11, rue des Tanneurs, à Mulhouse.

GROUVELLE, Ingénieur, Professeur à l'École Centrale, 26, rue des Écoles.

GRUEY-VIARD, Constructeur d'instruments de Physique, rue de la Liberté, à Dijon.

Digitized by Google

MM.

GUEBHARD (Dr **Adrien**), Agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, villa Mendiguren, à Nice.

GUELPA, Principal du Collège de Blidah (Algérie).

GUERBY (**A.**), Professeur en retraite, boulevard Fragonard, à Grasse (Alpes-Maritimes).

GUÉROULT (**Georges**), Trésorier-Payeur général, à Rennes.

GUILLAUME (**Ch.-Ed.**), Docteur ès sciences, attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

GUILLEBON (**de**), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 11, rue du Bourg-Neuf, Orléans.

GUILLEMIN (l'abbé), Professeur de Sciences mathématiques et physiques à l'Externat de la rue de Madrid, 4, avenue Marigny.

GUNTZ, Professeur à la Faculté des Sciences, 15, rue de Metz, à Nancy.

GUYE (**Ch.-Eug.**), Docteur ès sciences, 83, Beau Site, route du Chêne, à Genève (Suisse).

GUYE (**Philippe A.**), Docteur ès sciences, Professeur de Chimie à l'Université, 83, route du Chêne, à Genève (Suisse).

HAGENBACH-BISCHOFF, Professeur à l'Université de Bâle (Suisse).

HALLER (**A.**), Professeur de Chimie générale à la Faculté des Sciences de Nancy.

HANRIOT, Professeur honoraire de Physique de la Faculté des Sciences de Lille, à Joppécourt, par Mercy-le-Bas (Meurthe-et-Moselle).

HAUDIÉ (**Edgard**), Agrégé-Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 30, avenue de l'Observatoire.

HENOCQUE (le Dr), Directeur-adjoint au Laboratoire de Médecine de l'École des Hautes Études au Collège de France, 11, avenue Matignon.

HENRY (**Édouard**), Professeur au Lycée, 47, rue de la Comédie, à Lorient.

HEPITÈS (**Stefan**), Directeur de l'Institut météorologique de Roumanie, à Bucarest.

HESEHUS (**N.**), Professeur à l'Institut Technologique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

HILLAIRET (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 22, rue Vicq-d'Azir.

HIRSCH, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 1, rue Castiglione.

HODIN, Professeur au Lycée de Caen.

HOMÉN (**Theodor**), Docteur ès sciences, agrégé à l'Université d'Helsingfors (Finlande).

HOSPITALIER, Ingénieur des arts et manufactures, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 6, rue de Clichy.

HOSTEIN, Professeur au Lycée, 37, rue Isabey, Nancy.

HUDELOT, Répétiteur à l'École Centrale, 10, rue Saint-Louis en l'Ile.

HUGO (le Comte **Léopold**), 14, rue des Saints-Pères.

HUGON, Ingénieur, 77, rue de Rennes.

HUGUENY, Prof. honoraire de Faculté, 19, rue des Frères, à Strasbourg.

Digitized by Google

MM.

HURION, Professeur à la Faculté des Sciences, 65, rue Blattin, Clermont-Ferrand.

HURMUZESCU (**Dragomir**), Licencié de la Faculté de Bucarest, 22, rue Berthollet.

HUSSON (**Léon**), Contrôleur du Câble télégraphique à Haïphong (Tonkin).

HUTIN (**Maurice**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 16, rue de Saint-Pétersbourg.

IMBERT (**Armand**), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier.

INFREVILLE (**Georges d'**), Ex-Électricien de la *Western Union Telegraph C°*, Expert de la *National Bell Telephone C°*, 110, Liberty street, à New-York (États-Unis).

IVANOFF (**Basile**), Licencié ès sciences (maison Ivanoff), à Simpheropol (Russie).

JABLOCHKOFF, Ingénieur, 3, rue Théry, à Passy.

JANET (**Paul**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 1, rue Molière, à Grenoble.

JANNETTAZ (**Ed.**), Maître de conférences à la Faculté des Sciences, Assistant de Minéralogie au Museum, 86, boulevard Saint-Germain.

JANNIN, Professeur de Physique en retraite, 10, rue du Jardin national, à Albi.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.

JARNIGON (**Georges**), Ingénieur Électricien, 63, rue Saint-Denis.

JARRE (**L.**), 2, rue des Pyramides.

JAUMANN (**G.**), Assistant au Laboratoire de Physique de l'Université de Prague (Autriche).

JAVAL, Directeur du Laboratoire d'Ophtalmologie de la Faculté des Sciences, 58, rue de Grenelle.

JEANNEL (**G.**), Professeur au Lycée de Bordeaux, 226, rue S°-Catherine.

JÉNOT, Professeur au Collège Rollin, 17, rue Caulaincourt.

JEUNET, Professeur au Lycée, 131, rue Moulogis, à Angoulême.

JOANNIS (l'abbé **de**), Licencié ès Sciences physiques et mathématiques, 15, rue Monsieur.

JOBIN (**A.**), ancien élève de l'École Polytechnique, successeur de M. Laurent, 21, rue de l'Odéon.

JOLY, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 57, rue Claude-Bernard.

JOLY (Commandant **E.-L.**), Chef du Dépôt central de la Télégraphie militaire, 19, rue Boislevent.

JOUBERT, Inspecteur général de l'Instruction publique, 67, rue Violet.

JOUBIN, Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Besançon.

JOUET, 60, rue Pierre-Charron.

JOUKOWSKI (**Nicolas**), Professeur de Mécanique à l'Université et à l'École des Hautes Études de Moscou (Russie).

Digitized by Google

MM.

JOYEUX (**Eugène**), 5, route de Versailles, à Chaville.

JUNGFLEISCH, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 38, rue des Écoles.

JUSSIEU (**F. de**), Imprimeur, Directeur du journal *l'Autunois*, 4, Grand'Rue, à Autun.

KERANGUÉ (**Yves de**), Capitaine en retraite, à Kernouël, près Paimpol (Côtes-du-Nord).

KŒCHLIN (**Horace**), Chimiste, 16, rue Masséna, à Lyon.

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 27, quai d'Anjou.

KOTCHOUBEY, Président de la Société Impériale Polytechnique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

KOWALSKI, Prof. à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, 1, rue de Grassi, à Bordeaux.

KREICHGAUER, Docteur ès sciences, 22, Berlinerstrasse, Charlottemburg, près Berlin.

KROUCHKOLL, Docteur ès sciences, 17, rue du faubourg Saint-Jacques.

LABATUT, Professeur suppléant à l'École de Médecine et de Pharmacie de Grenoble.

LACOINE (**Émile**), Ingénieur-Électricien, Passage du Tunnel, à Constantinople (Turquie).

LACOUR (**Alfred**), Ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère.

LAFFARGUE (**Joseph**), Licencié ès sciences physiques, Chef de la Station municipale d'Électricité des Halles Centrales, 4, boulevard Sébastopol.

LAFLAMME (l'abbé), Membre de la Société Géologique de France, Doyen de la Faculté des Sciences, à l'Université Laval, à Québec (Canada).

LAFOREST (Comte **de**), Général de brigade, à Albi.

LAGRANGE (**L.**), Professeur de Physique à l'École militaire, 26, rue Vilain XIV, à Bruxelles (Belgique).

LALA (**Ulysse**), Docteur ès sciences, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences, Professeur de Mécanique à l'École des Beaux-Arts et des Sciences industrielles, 11, rue d'Abuisson, à Toulouse.

LALANDE (**de**), Ingénieur civil des Mines, ancien élève de l'École Polytechnique, 106, boulevard Saint-Germain.

LANCELOT, Constructeur d'Instruments d'acoustique, 70, avenue du Maine.

LANGLADE, Ingénieur de la Cie d'éclairage électrique, 19 *bis*, place du Palais-de-Justice, à Tours.

LAPRESTÉ, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Charlet.

LAROCHE (**Félix**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 110, avenue de Wagram.

LAROCQUE, Directeur de l'École des Sciences, à Nantes.

LAROUSSE, Professeur au Collège, 28, place Jeanne-Hachette, à Beauvais.

LARUE, ancien magistrat, 4, rue Volney.

Digitized by Google

MM.

LATCHINOW, Professeur à l'Institut du corps forestier, à Saint-Pétersbourg (Russie).

LATOUR, Professeur au Lycée, 4*bis*, petite rue Volney, à Angers.

LAURENT (**Léon**), Constructeur d'instruments d'Optique, 21, rue de l'Odéon.

LAURIOL (**P.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 83, boulevard Saint-Michel.

LAVIÉVILLE, Professeur au Lycée Condorcet, 56, rue de Lisbonne.

LAVERDE (Dr **Jésus Oloya**), à Bucaramanga (États-Unis de Colombie).

LAWTON (**George Fleetwood**), Ingénieur-Directeur de l'Eastern Telegraph Co, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

LE BEL (**J.-A.**), Ancien Président de la Société chimique, 25, rue Franklin.

LEBLANC (**Maurice**), ancien élève de l'École Polytechnique, 63, allée du Jardin-Anglais, au Raincy.

LECAT, Professeur au Lycée Janson de Sailly, 7, rue Gustave Courbet.

LECHAT, Professeur honoraire au Lycée Louis-le-Grand, 181, rue de Courcelles.

LE CHATELIER (**André**), Ingénieur des constructions navales, 25, cours Gambetta, à Lyon.

LE CHATELIER (**Henry**), Ingénieur des Mines, professeur de Chimie générale à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs.

LE CHATELIER (**Louis**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 95, rue de Rennes.

LE CHÂTONNIER, Chimiste en chef des Douanes, à Rouen.

LE CORDIER (**Paul**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand, 54, rue de Bordeaux, à Chamalières.

LEDEBOER, Docteur ès sciences, Villa Montmorency, 5, avenue du Square, à Auteuil.

LEDUC, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 136, rue d'Assas.

LEFEBVRE, Capitaine au 95e d'infanterie, au camp d'Avor.

LEFEBVRE (**E.**), Professeur au Lycée, 18, rue Montbauron, à Versailles.

LEFEVRE (**Julien**), Professeur au Lycée, 2, place Saint-Pierre, à Nantes.

LEJEUNE (**L.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Associé de M. Ducretet, 75, rue Claude-Bernard.

LELORIEUX (**V.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 135 *bis*, boulevard Montparnasse.

LEMOINE (**E.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

LEMOINE (**G.**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 76, rue d'Assas.

LEMOINE (**Jules**), Professeur au Lycée Condorcet, 43, rue Claude-Bernard.

LEMONNIER (**Paul**), Ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur constructeur, 194, rue de Rivoli.

LEMSTRÖM (**Selim**), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

LÉON (**Gustave**), Ingénieur des Mines, à Albi.

LEPERCQ (**Gaston**), Professeur de Chimie à la Faculté libre, 25, rue du Plat, à Lyon.

LEQUEUX (**P.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac.

Digitized by Google

MM.

LERAY (l'Abbé **Ad.**), Eudiste, 23, rue des Fossés-Saint-Jacques.

LERMANTOFF, Préparateur au Cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE ROUX, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse.

LEROY, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail.

LEROY, Médecin-Major de 2e classe au 157e régiment d'infanterie, au camp de Sathonay (Ain).

LESAGE, Professeur au Lycée de Châteauroux.

LESCHI, Professeur au Collège de Corte.

LESOBRE, Professeur au Collège de Melun.

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

LÉTANG (**Paul**), 34, boulevard Saint-Michel.

LÉVY (**Armand**), Professeur de Physique, rue de Cazault, 120, à Alençon.

LIBERT (**J.-C.-D.**), Professeur au Collège, Directeur de la Station agronomique, 63, rue de Brest, à Morlaix.

LIMB, Ingénieur, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 212, rue Saint-Jacques.

LINDÉ, Ingénieur-Électricien, Vassili Ostrou 1 Ligne 42 Qu. 7, à Saint-Pétersbourg.

LIPPICH (**Fr.**), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LIPPMANN, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue de l'Éperon.

LORRAIN (**James-Grieves**), Consulting Engineer Norfolk House, Norfolk street, London. W. C.

LOUGUININE (**W.**), Dr honoraire de l'Université de Moscou (Russie).

LUBOSLAWSKY (**Gennady**), Préparateur au Laboratoire de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

LUCCHI (Dr **Guglielmo de**), Professeur de Physique au Lycée royal Tito Livio, Padoue (Italie).

LUGOL, Professeur au Lycée, 7, rue Porte-Neuve, à Pau.

LUSSANA (**Sylvio**), Docteur ès sciences physiques à l'Université de Padoue (Italie).

LUTZ, Constructeur d'instruments d'optique, 65, boulevard Saint-Germain.

LYON (**Gustave**), ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

MACÉ DE LÉPINAY, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille.

MACH (Dr **E.**), Professeur de Physique à l'Université de Prague (Autriche).

MACQUET (**Auguste**), Ingénieur au corps des Mines, Directeur de l'École provinciale d'Industrie et des Mines du Hainaut, 22, boulevard Dolez, à Mons (Belgique).

MADAMET, Directeur des forges et chantiers de la Méditerranée, à Marseille.

Digitized by Google

MM.

MAGNE (P.), Directeur-Ingénieur du contrôle des Postes et des Télégraphes, 34, avenue de Villiers.

MAICHE, Ingénieur électricien, 282, rue Saint-Jacques.

MAIGRET (Dr), 44, avenue de la République, Grand-Montrouge.

MAINGIE, Docteur ès sciences physiques et mathématiques, 218, avenue de la Reine, à Laeken, Bruxelles (Belgique).

MAISONOBE, Capitaine d'Artillerie, 38, faubourg de France, à Belfort.

MALLARD, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'École des Mines, 11, rue de Médicis.

MALLY (Dr **Francis**), 174, boulevard Pereire.

MALOSSE, Professeur à l'École de Médecine d'Alger.

MANEUVRIER, Agrégé de l'Université, Sous-Directeur du Laboratoire des recherches physiques à la Sorbonne, 54, rue Notre-Dame-des-Champs.

MANY, Professeur de Physique à l'École des Ponts et Chaussées, à Bucarest (Roumanie).

MAQUELIN (**Hippolyte**), Trésorier de la Caisse d'Épargne, à Sézanne (Marne).

MARAGE (Dr), Docteur ès Sciences, 15, place de la Madeleine.

MARCHIS, Professeur au Lycée de Caen.

MAREY, Membre de l'Institut, 11, boulevard Delessert.

MARIA (**Emile**), Professeur à l'École Turgot, 14, rue de Longchamp.

MARTIN (**Ch.**), rue de Bonneval, à Chartres.

MARTIN (**Joanny**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 6, rue des Capucins, à Lyon.

MARTINET, Professeur au Lycée Janson de Sailly, 5, rue de l'Amiral Courbet.

MARTINET, Professeur au Prytanée militaire, à la Flèche.

MASCART, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau central météorologique, 176, rue de l'Université.

MASSIEU, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.

MASSIN, Ingénieur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

MASSON (**G.**), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.

MATHIAS (**Émile**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Toulouse.

MAUMENÉ (**E.**), 91, avenue de Villiers.

MAUPEOU D'ABLEIGES (**de**), Ingénieur de la Marine, à Lorient.

MAURAT, Professeur honoraire au Lycée Saint-Louis, à Rochecorbon (Indre-et-Loire).

MEAUX (**de**), Chef de Bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, 44, rue Saint-Placide.

MELANDER, Préparateur à l'Université d'Helsingfors (Finlande).

MENDIZABAL TAMBORREL (**de**), Ingénieur-géographe, à Mexico (Mexique).

MÉNIER (**Henri**), 8, rue de Vigny.

MERCADIER, Directeur des Études à l'École Polytechnique, 21, rue Descartes.

MERGIER, Préparateur des travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 66, avenue de Châtillon.

Digitized by Google

MM.

MÉRITENS (**de**), Ingénieur, 44, rue Boursault.

MERLE (**Antoine**), Propriétaire de la maison Brunot-Court, boulevard Victor-Hugo, à Grasse.

MERLIN (**Paul**), Professeur au Lycée, 78, faubourg Vincent, à Châlons-sur-Marne.

MESLIN, Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Montpellier.

MESTRE, ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur, Chef de traction au chemin de fer de l'Est.

MEYER, Directeur de la Compagnie continentale Edison, 8, rue Caumartin.

MEYLAN, Ingénieur, 24, avenue du Nord, au Parc Saint-Maur (Seine).

MICHELSON (**Albert**), Professeur à l'Université de Chicago (États-Unis).

MICULESCU (**Constantin**), Docteur ès sciences, à l'Université de Bucarest (Roumanie).

MILLARD (**J.-A.**), Docteur en Médecine, au château Sunnyside, à Dinard-Saint-Enogat (Ille-et-Vilaine) et 25, rue Royale.

MINGASSON, Professeur au Lycée de Toulon.

MISLAWSKY (D^r^), Professeur agrégé de Physiologie à l'Université de Kasan (Russie).

MOLTENI (**A.**), Ingénieur-Constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.

MONNORY (**Henri**), Professeur au Lycée, 32, rue Malesherbes, à Lyon.

MONOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon.

MONTAUD (**B. de**), Ingénieur civil, 73, rue d'Allemagne.

MONTEFIORE (**Levi**), Sénateur, Ingénieur, Fondateur de l'Institut électrotechnique, 35, rue de la Science, à Bruxelles (Belgique).

MONTEIL (**Silvain**), Juge de Paix à Châteauponsac (Haute-Vienne).

MONTHIERS (**Maurice**), 135, boulevard Malesherbes.

MORANA (**Ignace**), Électricien, à Ragusa (Sicile).

MORELLE, Constructeur-Mécanicien, 39, avenue d'Orléans.

MORS, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 8, avenue de l'Opéra.

MOSER (Dr **James**), Privat-Docent à l'Université, 25, Laudongasse, Vienne VIII (Autriche).

MOUCHOT, Professeur en retraite, 56, rue Dantzig (5, passage Dantzig).

MOULIN (**Honoré**), Capitaine au 8e bataillon d'Artillerie de forteresse, à Épinal.

MOUREAUX (**Th.**), Météorologiste à l'Observatoire du Parc Saint-Maur (Seine).

MOUSSELIUS (**Maximilien**), Employé à l'administration centrale des Télégraphes, rue Torgowaïa n° 13, Log. 4, à Saint-Pétersbourg (Russie).

MOUTIER, Examinateur de sortie à l'École Polytechnique, à Villers, par Saint-Leu d'Esserent (Oise).

MOUTON, Docteur ès sciences, 1, rue de l'Audience, à Fontenay-sous-Bois.

MUIRHEAD (Dr **Alexandre**) F. C. S., 5, Cowley Street, Westminster, S. W. Londres.

MUKHOPADHYAY (**Asutosh**), Membre de la Société de Physique de Londres, 77, Russa Road north, Bhowanipore, à Calcutta (Indes).

NACHET (**A.**), Constructeur d'instruments d'optique, 17, rue Saint-Séverin.

Digitized by Google

MM.

NACHET (**Camille**), Constructeur d'instruments d'optique, 7, rue des Gravilliers.

NAMBA MASSASHI, à Sendaï (Japon).

NEGREANO (**D.**), Directeur du laboratoire de Physique de l'Université de Bucarest) Roumanie).

NERVILLE (**de**), Ingénieur des Télégraphes, Directeur du Laboratoire central d'électricité, 116, boulevard Haussmann.

NEUBURGER, Professeur au Lycée, 11, avenue du Vieux-Marché, à Orléans.

NEYRENEUF, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen.

NODON (**Albert**), Ingénieur civil, 20, rue du Midi, à Vincennes.

NODOT, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 3, rue Franoy, à Dijon.

NOÉ (**Charles**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 8, rue Berthollet.

NOGUÈ (**Émile**), Attaché à la Maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas.

NOTHOMB (**Louis**), Professeur de télégraphie technique à l'École de Guerre, 91, avenue Louise, à Bruxelles.

NOUGARET (**Élie**), Professeur au Lycée, place Plumancy, à Périgueux.

OFFRET, Professeur au Lycée, 9, rue Martin du Nord, à Douai.

OFFRET (**Albert**), Maître de Conférences de Minéralogie à la Faculté des Sciences, 135, avenue de Saxe, à Lyon.

OGIER (**Jules**), Docteur ès sciences, Chef du laboratoire de Toxicologie, 1, quai d'Orsay.

OLIVIER (**Louis**), Docteur ès sciences, Directeur de la *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 34, rue de Provence.

OLLIVIER (**A.**), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

ONDE, Professeur au Lycée Henri IV, 41, rue Claude-Bernard.

OUMOFF (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Université d'Odessa (Russie).

PAILLARD-DUCLÉRÉ (**Constant**), Secrétaire d'Ambassade, 96, boulevard Haussmann.

PAILLOT, Chef des Travaux pratiques à la Faculté des Sciences, 2, rue des Fleurs, à Lille.

PALAZ (**Adrien**), Docteur ès sciences, Professeur d'Électricité industrielle à l'Université de Lausanne (Suisse).

PALMADE, Professeur au Lycée de Nîmes.

PALMADE, Capitaine du Génie, à Lille.

PANZANI (**J.-P.**), Licencié ès Sciences mathématiques et physiques, Directeur de l'École Descartes, 42, boulevard d'Argenson, à Neuilly-sur-Seine.

PARAIRE (l'abbé), Licencié ès Sciences physiques, 129, rue Rannelagh.

PARENTHOU (**Émile**), Ingénieur, 13, rue du Val-de-Grâce.

PARISSE, Ingénieur des Arts et Manufactures, 49, rue Fontaine-au-Roi.

PARMENTIER, 21, avenue de la Toison-d'Or, à Bruxelles (Belgique).

PASQUIER (D^r^), rue Saint-Nicolas, à Evreux.

Digitized by Google

MM.

PAUL (**Joseph**). — Ancien élève de l'École Polytechnique, 149, boulevard Montparnasse.

PAVLIDÈS (**Démosthènes**), Docteur en Médecine, 14, rue Cadet.

PAYN (**John**), Directeur de l'Eastern Telegraph C°, au Caire (Egypte).

PELLAT (**H.**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

PELLERIN, Professeur de Physique à l'École de Médecine, 9, quai Richebourg, à Nantes.

PELLIN (**Philibert**), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Jules Duboscq, 21, rue de l'Odéon.

PÉRARD (**L.**), Professeur à l'Université, 101, rue St-Esprit, à Liège (Belgique).

PEREZ (**Fernando Ferrari**), Professeur à l'École normale, Tacubaya D. F. à Mexico (Mexique).

PÉRIGNON, 105, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

PERNET (**Dr J.**), à l'École Polytechnique, à Zurich (Suisse).

PÉROT (**Alfred**), Chargé d'un Cours supplémentaire de Physique, à la Faculté des Sciences, 119, Boulevard de Longchamps, à Marseille.

PERREAU, Agrégé-Préparateur de Physique, au Collège de France.

PETIT (**Paul**), Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.

PÉTROFF, Professeur à l'Institut Technologique, Directeur du Département des chemins de fer au Ministère des voies et communications, à Saint-Pétersbourg (Russie).

PEUCHOT (**E.**), Dessinateur et graveur, 10, rue de Nesles.

PEUCHOT, Ingénieur opticien, 31, quai des Grands-Augustins.

PEYRUSSON (**Édouard**), Professeur de Chimie et de Toxicologie à l'École de Médecine et de Pharmacie, hermitage de Montjovis, à Limoges.

PFAUNDLER (**Léopold**), Professeur à l'Université de Gratz (Autriche).

PHILBERT, Ancien receveur des télégraphes, 32, faubourg de Fougères, à Rennes.

PHILIPPON (**Paul**), Répétiteur au Laboratoire d'Enseignement de la Sorbonne, 166, boulevard Montparnasse.

PICART (**A.**), Fabricant d'instruments de précision, 20, rue Mayet.

PICOU, Ingénieur des arts et manufactures, 75, avenue de la Grande-Armée.

PILLEUX, Électricien, 79, rue Claude-Bernard.

PILLON (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Deleuil, 42, rue des Fourneaux.

PILTSCHIKOFF (**Nicolas**), Professeur à l'Université de Kharkoff (Russie).

PINEL (**Charles-Louis**), 26, rue Méridienne, à Rouen.

PIONCHON, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

PITANGA (**Epiphanio**), Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro, 50, rua do Marquez d'Abrantes.

POINCARÉ (**Antoni**), Inspecteur général du Ponts et Chaussées, 14, rue du Regard.

Digitized by Google

MM.

POINCARÉ (**Lucien**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 99, rue de Rennes.

POINTELIN, Professeur de Physique au Lycée d'Amiens.

POIRÉ, Membre du Conseil supérieur de l'Instruction publique, Professeur au Lycée Condorcet, 95, boulevard Malesherbes.

POLLARD (**Jules**), Ingénieur de la Marine, 28, rue Bassano.

POMEY (**J.-B.**), Inspecteur-Ingénieur des Télégraphes, à Châlons-sur-Marne.

PONSELLE (**George**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 114, avenue de Wagram.

PONSOT, Professeur au Lycée Condorcet, 149, rue de Rennes.

POPOFF (**Alexandre**), Professeur à l'École des Torpilleurs marins, Classe des officiers de Marine, à Cronstadt (Russie).

POPP (**Victor**), Administrateur-directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 54, rue Étienne-Marcel.

PÖPPER (**Josef**), Ancien élève de l'École Polytechnique de Vienne, Ingénieur constructeur de machines, VII, Westbahnstrass, 29, à Vienne (Autriche).

POTIER, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel.

POUSSIN (**Alexandre**), Ingénieur, au Château de La Houblonnière, par Lisieux.

PRÉAUBERT (**E.**), Professeur au Lycée, 13, rue Proust, à Angers.

PRÉOBRAJENSKI (**Pierre**), au Musée Polytechnique, à Moscou (Russie).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.

PUPIN, Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

PUYFONTAINE (Comte **de**), 34, avenue Friedland.

QUESNEVILLE (Dr), Professeur agrégé à l'École supérieure de Pharmacie, 1, rue Cabanis.

RADIGUET, Opticien constructeur, 15, boulevard des Filles-du-Calvaire.

RAFFARD, Ingénieur civil, 5, avenue d'Orléans.

RAMEAU (**l'abbé**), Professeur de Physique à l'Institution Saint-Cyr, à Nevers.

RANQUE (**Paul**), Docteur en Médecine, 13, rue Champollion.

RAU (**Louis**), Administrateur délégué de la Compagnie Continentale Edison, 7, rue Montchanin.

RAVEAU, Répétiteur à l'Institut national agronomique, 5, rue des Écoles.

RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

RAYMOND (**Eugène**), Ingénieur de la Marine, à Lorient.

RECHNIEWSKI, Ingénieur électricien, 11, rue Lagrange.

RECOURA (**Albert**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Lyon.

RÉGNARD (Dr **P.**), Sous-Directeur du Laboratoire de Physiologie de la Faculté des Sciences, 224, boulevard Saint-Germain.

REISET, Membre de l'Institut, 2, rue de Vigny.

RENARD (**Charles**), Chef de bataillon du Génie, Directeur de l'Établissement central d'Aérostation militaire, 7, avenue de Trivaux, à Chalais-Meudon.

Digitized by Google

MM.

RENAULT (**A.**), Licencié ès Sciences physiques, 25, rue Brezin.

REY (**Casimir**), Professeur de Mathématiques à l'École du Génie, 25, boulevard de la Reine, à Versailles.

RIBAIL (**Xavier**), Ingénieur adjoint à l'ingénieur en chef du matériel de la traction des Chemins de fer de l'Ouest, 6, rue de Constantinople, 44.

RIBAN (**Joseph**), Directeur adjoint du Laboratoire d'enseignement chimique et des Hautes Études, 85, rue d'Assas.

RIBIÈRE (**Charles**), Ingénieur des Ponts et Chaussées attaché au service des Phares, 13, rue Mignard.

RICHARD (**Jules**), Ingénieur-Constructeur, 8, impasse Fessart (Belleville).

RICHET (**Ch.**), Professeur à la Faculté de Médecine, 15, rue de l'Université.

RIGOLLOT, Chef des Travaux pratiques à la Faculté des Sciences de Lyon.

RIGOUT (**A.**), Docteur en Médecine, 10, rue Gay-Lussac.

RIVIÈRE (**Charles**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 81, boul. Saint-Michel.

ROBERT, Ingénieur des Arts et Manufactures, 27, rue Notre-Dame-des-Champs.

ROBIN (**P.**), Directeur de l'orphelinat Prévost, appartenant au département de la Seine, à Cempuis (Oise).

ROBLES (**José de**), Ingénieur agronome, calle del General Castagnos, 7, à Madrid (Espagne).

RODDE (**Ferd.**), 7, rue du Delta.

RODDE (**Léon**), 107, rua do Ouvidor, à Rio-Janeiro (Brésil).

RODOCANACHI (**Emmanuel**), 54, rue de Lisbonne.

ROGER (**Albert**), rue Croix-de-Bussy, à Épernay.

ROGER, Chef d'Institution honoraire, 161, rue Saint-Jacques.

ROGOWSKY (**Eugène**), Professeur au Laboratoire de Physique de l'Université, à Saint-Pétersbourg (Russie).

ROIG Y TORRES (**Raphaël**), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

ROMILLY (**de**), 25, avenue Montaigne.

ROMILLY (**Paul de**), Ingénieur en Chef des Mines, 7, rue Balzac.

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'usine Poirier, 61, route de Saint-Leu, à Enghien.

ROUSSEAU, Professeur à l'Université, 20, rue Vauthier, à Ixelles-Bruxelles.

ROUSSEAU (**Paul**), Fabricant de produits chimiques, 17, rue Soufflot.

ROUSSELET, Censeur du Lycée de Lille.

ROUSSELOT (l'abbé), Professeur à l'Institut catholique, rue Littré.

ROUX (**Gaston**), Ingénieur Électricien, 51, rue de Dunkerque.

ROUX, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à l'École Sainte-Geneviève, 114, boulevard Montparnasse.

ROWLAND, Professeur à l'Université Johns Hopkins, à Baltimore (États-Unis).

ROZIER (**F.**), Docteur en Médecine, 10, rue du Petit-Pont.

SACERDOTE (**Paul**), Agrégé-Préparateur au Laboratoire d'Enseignement physique à la Sorbonne.

Digitized by Google

MM.

SADOWSKY (**Alexandre**), Professeur à l'Académie de Marine et à l'École des Mines, à Saint-Pétersbourg (Bussie).

SAÏD (**Dj.**), Ingénieur, 8, Istravoz (Beylirbey), à Constantinople (Turquie).

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Émile**), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 9, rue Brémontier.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), Ingénieur des Manufactures de l'État, 3, place Péreire.

SALADIN, Ingénieur civil des Mines, 57, avenue Victor-Hugo.

SALCHER (**Dr P.**), Professeur à l'Académie Impériale de Fiume (Autriche-Hongrie).

SALET, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 120, boulevard Saint-Germain.

SANDOZ (**Albert**), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 11, rue Rataud.

SARASIN (**E.**), Docteur ès Sciences, à Genève (Suisse).

SARCIA (**Jules**), Ingénieur de la Société anonyme pour le Travail électrique des Métaux, 14, rue Gérando.

SARRAN, Professeur au Lycée de Bordeaux.

SARRAU, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Poudres et Salpêtres, professeur de Mécanique à l'École Polytechnique, 9 *bis*, avenue Daumesnil, à Saint-Mandé.

SAUSSE (**A.**), Préparateur à la Faculté des Sciences de Caen.

SAUTTER (**Gaston**), Ingénieur, 26, avenue de Suffren.

SCHILLER (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Université de Kieff (Russie).

SCHNEIDER (**Théodore**), Professeur de Chimie à l'École Monge, 5, rue Bosio, à Auteuil.

SCHODDUIJN (l'abbé), Professeur de Sciences à l'Institution Saint-Joseph, à Gravelines.

SCHWEDOFF, Doyen de la Faculté des Sciences, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

SCIAMA, Ingénieur civil des Mines, directeur de la maison Bréguet, 16, rue François Ier.

SCOBELTZINE (**Wladimir**), Préparateur au Laboratoire de Physique de l'Université, à Saint-Pétersbourg (Russie).

SEBERT, Général d'Artillerie de Marine, 14, rue Brémontier.

SÉGUIN, ancien Recteur, 1, rue Ballu.

SEIGNETTE (**Adrien**), Professeur au Lycée Condorcet, 21, rue Tronchet.

SELIGMANN-LUI, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

SENTIS, Professeur au Lycée de Grenoble.

SERPOLLET, Ingénieur, 27, rue des Cloys.

SERRÉ-GUINO, Examinateur à l'École de Saint-Cyr, 114, rue du Bac.

SIGALAS (**Dr C.**), Chef des Travaux, chargé d'un Cours complémentaire de Physique à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 4, rue Théodore-Ducos, à Bordeaux.

Digitized by Google

MM.

SIMOUTRE (l'abbé), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

SIRE (**G.**), Correspondant de l'Institut, à Besançon-Mouillière.

SIRVENT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 73, rue de Rennes.

SLOUGUINOFF, Directeur de l'Institut de Physique de l'Université impériale de Kasan (Russie).

SOKOLOFF (**Alexis**), Professeur de Physique à l'Académie de Moscou (Russie).

SOMZÉE (**Léon**), Ingénieur honoraire des Mines, 117, rue Royale, à Bruxelles (Belgique).

STAPFER (**Daniel**), Ingénieur, boulevard de la Mayor, à Marseille.

STŒCHEGLAIEF (**Wladimir**), Professeur de Physique à la Haute École technique de Moscou (Russie).

STEPANOFF, Professeur de Physique, à Cronstadt (Russie).

STOKES (**G.-G.**), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge, Lensfield Cottage, Cambridge (Angleterre).

STOLETOW (**Al.**), Professeur à l'Université de Moscou (Russie).

STRAUSS, Capitaine du Génie, Attaché au Dépôt des fortifications, 8, rue Saint-Dominique.

STREET (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 17, rue Treilhard.

TACCHINI, Astronome, Directeur du Bureau météorologique d'Italie, à Rome.

TAILLEFER (**André**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 81, boulevard Saint-Michel.

TEISSERENC DE BORT (**Léon**), Chef du Service de Météorologie générale au Bureau central météorologique, Secrétaire général de la Société Météorologique de France, 82, avenue Marceau.

TEISSIER, Professeur au Lycée, 5, rue de Lille, à Nice.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir Kaies, 15, maison Friedrichs, à Saint-Pétersbourg (Russie).

THENARD (le **baron Arnould**), chimiste agriculteur, 6, place Saint-Sulpice.

THIERRY (**Maurice de**), Docteur en Médecine, 119, rue d'Alésia.

THIESEN (Dr **Max**.), à Charlottemburg, Berlinerstrasse, 22, à Berlin.

THIMONT, Professeur au Collège Stanislas, 19, rue Littré.

THOMPSON (**Silvanus-P.**), Professeur à Finsbury Technical College, Morland Chrislett Road, West, Londres, N. W. (Angleterre).

THOMSON (Sir **William**) [**Lord Kelvin**], F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).

THOUVENEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 100, rue de Rennes.

THOUVENOT (**Clovis**), Directeur della Societa elettrotecnica, via delle Tre Pile, 3-8, à Rome (Italie).

TIMIRIAZEFF, Professeur à l'Université et à l'Académie agronomique de Moscou (Russie).

TISSANDIER (**Gaston**), Directeur du Journal « *La Nature* », 50, rue de Châteaudun.

TISSIER, Professeur au Lycée de Reims.

Digitized by Google

MM.

TISSOT, Enseigne de Vaisseau, chargé d'un Cours de Physique à l'École navale, 107, rue de Siam, à Brest.

TOMBECK, Licencié ès Sciences, 4, rue Léopold-Robert.

TONARELLI, Censeur du Lycée de Montpellier.

TOUANNE (**de la**), Ingénieur des télégraphes, 13, rue Soufflot.

TRIPIER (le Dr), 41, rue Cambon.

TROTIN, Ingénieur des télégraphes, 38, quai Henri IV.

TROUVÉ (**G.**), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne.

TULEU (**Charles**), Ingénieur, 58, rue Hauteville.

UCHARD (**A.**), Capitaine d'artillerie, à la Commission d'Expériences, à Bourges.

UNIVERSITÉ DE SYDNEY (**New South Wales**).

VACHER (**Paul**), 45, rue de Sèvres.

VAGNIEZ-BENONI, Négociant, 14, rue Lemerchier, Amiens.

VAGNIEZ (**Ed.**), 14, rue Lemerchier, à Amiens.

VAN AUBEL (Dr **Edmond**), chargé de Cours à l'Université, 12, rue de Comines, à Gand (Belgique).

VANDENBROUCQUE, Professeur à l'Institution libre, à Marcq en Barœul (Nord).

VAN DER MENSBRUGGHE (**Gustave-Léonard**), Professeur de Physique mathématique à l'Université, 80, rue Coupure, à Gand (Belgique).

VAN DER VLIETH, Professeur de Physique à l'Université de St-Pétersbourg.

VANDEVYVER, Docteur ès Sciences et Répétiteur à l'Université, 11, boulevard de la Citadelle, à Gand (Belgique).

VARACHE (**A.**), Professeur au Collège, 28, rue de la Rotonde, à Béziers.

VARENNE (**de**), Préparateur du Laboratoire de Physiologie générale au Muséum, 7, rue de Médicis.

VASCHY, Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique, 68, avenue Bosquet.

VASSEUR (**Alfred**), 4, petite rue de Barette, à Amiens.

VAUTIER (**Théodore**), Chargé des conférences de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.

VAYSSIÈRES (**Louis**), Licencié ès Sciences à la Faculté des Sciences, 12, rue Saint-Pierre, à Montpellier.

VELTER (**Jules**), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Deleuil, 42, rue des Fourneaux.

VERDIN, Constructeur d'instruments pour la Physiologie et la Médecine, 7, rue Linné.

VERRIER (**Gabriel**), Ingénieur électricien, Ancien élève diplômé de l'École centrale et de l'École supérieure de Télégraphie, 13, boulevard Saint-Germain.

VIDAL (**Léon**), Professeur à l'École des Arts décoratifs, 7, rue Scheffer.

Digitized by Google

MM.

VIEILLE, Ingénieur des Poudres et Salpêtres, Répétiteur à l'École Polytechnique, 19, quai Bourbon.

VILLARS, Professeur au Lycée de Rouen.

VILLIERS (**Antoine**), Agrégé à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

VINCENS, Licencié ès Sciences, 59, rue d'Amsterdam.

VIOLET (**Léon**), 20, rue Delambre.

VIOLLE, Maître de conférences à l'École Normale, 89, boulevard Saint-Michel.

VLASTO (**Ernest**), Ingénieur, Administrateur de la Société anonyme de fabrication de produits chimiques, 44, rue des Écoles.

VOIGT, Professeur honoraire du Lycée de Lyon, à Géanges, par Saint-Loup de la Salle (Saône-et-Loire).

VOISENAT (**Jules**), Ingénieur des télégraphes, 16, rue Berlier, à Dijon.

WAHA (**de**), Professeur de Physique à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WALLON (**E.**), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 65, rue de Prony.

WEISS (**G.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 119, boulevard Saint-Germain.

WENDT (**Gustave**), Constructeur d'instruments de Physique (maison Hempel), 55, quai des Grands-Augustins.

WERLEIN (**Ivan**), Constructeur d'instruments d'Optique, 71, rue du Cardinal-Lemoine.

WEST (**Émile**), Chef du laboratoire des Chemins de fer de l'Ouest, 29, rue Jacques-Dulud, à Neuilly-sur-Seine.

WEYHER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de Machines, 36, rue Ampère.

WIEDEMANN (**Eilhard**), Professeur de Physique, à Erlangen (Allemagne).

WITZ (**Aimé**), Ingénieur civil, Professeur aux Facultés catholiques, 29, rue d'Antin, à Lille.

WOLF, Membre de l'Institut, Astronome à l'Observatoire de Paris, 1, rue des Feuillantines.

WOULFF, Agrégé de l'Université de Varsovie (Russie).

WUILLEUMIER (**H.**), Docteur ès Sciences, 98, rue d'Assas.

WUNSCHENDORFF, Ingénieur chargé de la construction des lignes souterraines, au Ministère des Postes et des Télégraphes, 92, rue de Rennes.

WYROUBOFF, Docteur ès Sciences, 141, rue de Rennes.

XAMBEU, ancien Professeur, 41, Grande-Rue, à Saintes.

YVON (**P.**), Pharmacien, 26, avenue de l'Observatoire.

Digitized by Google

MM.

ZAHM (**J.-A.**), Professeur de Physique à l'Université à Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, Chacabuco, 57, à Santiago (Chili).

ZILOFF, Professeur de Physique à l'Université de Varsovie (Russie).

Mai 1893.

Prière d'adresser au Secrétaire général les rectifications et changements d'adresse.

Digitized by Google

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

SÉANCE DU 15 JANVIER 1892 5

E. Carvallo. — Sur une similitude dans les fonctions des machines. 6
Ziloff. — Sur la propagation des ondes électriques dans les fils..... 8
Ch.-Ed. Guillaume. — Considérations sur la théorie de l'éclairage et l'utilisation de l'énergie dans les foyers de lumière..... 9
Décisions du Conseil (Séance du 27 janvier 1892)..... 11
Rapport de la Commission des Comptes sur l'exercice de 1891..... 11
Friedel. — Allocution prononcée dans la Séance du 15 janvier 1892. 16

SÉANCE DU 5 FÉVRIER 1892..... 21

E. Lagrange et P. Hoho. — Étude sur un phénomène lumineux et calorifique produit par le courant électrique dans les liquides..... 22
C. Miculescu. — Sur la détermination de l'équivalent mécanique de la calorie..... 25
A. Broca. — Aplanétisme et achromatisme..... 42

SÉANCE DU 18 FÉVRIER 1892..... 58

Nikola Tesla. — Expériences avec les courants alternatifs de grande fréquence et de haute tension..... 62

SÉANCE DU 4 MARS 1892..... 129

H. Le Chatelier. — Sur la mesure optique des températures élevées. 132
R. Colson. — Méthode téléphonique pour l'étude de la propagation des ondes électriques..... 152

SÉANCE DU 18 MARS 1892..... 160

Lauriol. — Expériences de M. Langley sur la résistance de l'air au mouvement..... 161
Paquelin. — Éolipyle à réservoir étanche. — Éolipyle à réservoir indépendant. — Perfectionnements au thermocautère de 1875. — Chalumeau à essence. — Fer à souder. — Foyers de platine. — Application de ces différents appareils à la pyrographie..... 163

Digitized by Google

Pages.

SÉANCE DU 1er AVRIL 1892 165

FRANK MAC CLEAN M. A. — Photographies spectrales obtenues avec un réseau de Rowland 165
BLONDEL. — Méthode pour la détermination des courbes périodiques des courants alternatifs. — Phénomènes périodiques de l'arc alterné. 166
E. CARVALLO. — Absorption cristalline et choix entre les diverses théories de la lumière 169
Décisions du Conseil (Séance du 31 mars 1892) 171
IZARN. — Appareil démontrant le mécanisme des ondes stationnaires... 172

SÉANCE ANNUELLE. — Réunions des mardi 19, mercredi 20 et jeudi 21 avril 1892 176

A. D'ARSONVAL. — Sur les effets physiologiques de l'état variable en général et des courants alternatifs en particulier 183
E. DUCRETET et LEJEUNE. — Notice sur les expériences de MM. Elihu Thomson et Tesla réalisées au moyen des appareils construits par MM. E. Ducretet et L. Lejeune 203

SÉANCE DU 6 MAI 1892 207

LIPPMANN. — Sur la photographie des couleurs 210

SÉANCE DU 20 MAI 1892 211

C. RAVEAU. — Sur une propriété des tubes de Natterer 213
LÉON VIDAL. — Sur les projections polychromes à l'aide de diapositifs non colorés 214
ÉDOUARD BRANLY. — Sur la conductibilité des gaz 215
AMAGAT. — Sur la détermination de la densité des gaz liquéfiés et de leurs vapeurs saturées. Éléments du point critique de l'acide carbonique 230

SÉANCE DU 3 JUIN 1892 239

HURMUZESCU. — Sur la diffraction éloignée 243
E. BOUTY. — Sur la coexistence du pouvoir diélectrique et la conductibilité électrolytique 244

SÉANCE DU 17 JUIN 1892 258

P. CURIE et J. CURIE. — Sur la conductibilité des diélectriques solides. 261
VIOLLE. — Sur le rayonnement des corps incandescents 263
C. RAVEAU. — Sur les adiabatiques d'un système de liquide et de vapeur 266

Digitized by Google

Pages.

SÉANCE DU 1er JUILLET 1892 276

P. Curie. — Sur les recherches de M. J. Curie 277
Warburg et Tegetmeier. — Sur la conductibilité des diélectriques .. 277
H. Abraham. — Sur le débit d'une machine électrostatique à influence. 278

SÉANCE DU 15 JUILLET 1892 284

D. A. Casalonga. — De la quantité de chaleur qui disparaît de certaines chaudières 284
Pellat. — Remarques sur la communication précédente 285
Tscherning. — Les sept images de l'œil humain 288

SÉANCE DU 4 NOVEMBRE 1892 296

Ph.-A. Guye. — Sur la détermination du poids moléculaire au point critique 297
E. Mathias. — Sur la densité critique et le théorème des états correspondants 299
Cailletet et E. Colardeau. — Recherches expérimentales sur la chute des corps et sur la résistance de l'air à leur mouvement; expériences exécutées à la tour Eiffel 316

SÉANCE DU 18 NOVEMBRE 1892 323

Commandant Renard. — Sur l'emploi des ballons perdus pour l'exécution de mesures météorologiques à très grandes hauteurs 326
Henri Abraham. — Sur une nouvelle détermination du rapport v entre les unités C.G.S. électromagnétiques et électrostatiques 332
E. Lagrange et P. Stroobant. — Une nouvelle méthode astro-photométrique 345
G. Wyrouboff. — Sur le pouvoir rotatoire moléculaire 357

SÉANCE DU 2 DÉCEMBRE 1892 363

Lippmann. — Photographies colorées du spectre sur couches bichromatées 364
Ed. Van Aubel. — Influence de l'aimantation sur la longueur d'un barreau de bismuth 366
Alphonse Berget. — Sur la dilatation magnétique du fer 371
P. Curie. — Sur l'emploi des condensateurs à anneau de garde et des électromètres absolus 377

SÉANCE DU 16 DÉCEMBRE 1892 384

Ed. Jannettaz. — Ellipsomètre 384
R. Colson. — Emploi du téléphone et du tube de Geissler pour la

Digitized by Google

Pages.

recherche d'interférences électriques. — Passage du circuit ouvert au circuit fermé 388

A. Hesse. — Sur les diélectriques hétérogènes 393

Commandant Renard. — Note sur les expériences aérodynamiques de M. S.-P. Langley (Séance du 23 avril 1892) 408

Liste des ouvrages reçus pendant l'année 1892 413

Liste des membres 421

Table des matières 463

19455 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS ET FILS, quai des Grands-Augustins, 55.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

This book should be
the Library on or before t
stamped below.
A fine of five cents a day
by retaining it beyond t
time.
Please return promptly.

Digitized by Google